



الهندسة البيئية والصحية

ENVIRONMENTAL ENGINEERING

مهندس استشاري

محمد أحمد خليل

S&H

الهندسة البيئية والصحية

ENVIRONMENTAL ENGINEERING

مهندس استشاري

محمد أحمد السيد خليل

محمد أحمد السيد خليل
الهندسة البيئية والصحية
ط ١ - القاهرة : دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع،
٢٠٠٧

تدمك ٩٧٧-٢٨٧-٧٤٨-١
١ - هندسة البيئة

٦٢٠,٨

© حقوق النشر والطبع والتوزيع محفوظة

لدار الكتب العلمية للنشر والتوزيع / ٢٠٠٧

لا يجوز نشر جزء من هذا الكتاب أو إعادة طبعه أو
اختصاره بقصد الطباعة أو اختزان مادته العلمية أو نقله
بأى طريقة سواء كانت إلكترونية أو ميكانيكية أو بالتصوير
أو خلاف ذلك دون موافقة خطية من الناشر مقدماً.

دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع

٥٠ شارع الشيخ ربحان - الدور الأول - شقة ١٢

عابدين - القاهرة ☎ : ٢٧٩٥٤٢٢٩

www.sbh-egypt.com

E-mail: sbh@link.net

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الجزء الأول

الهندسة البيئية

الفصل الأول : مفاهيم أساسية

الفصل الثاني : تلوث المياه

الفصل الثالث : الهيدرولوجي وحصد مياه الأمطار والسيول

الفصل الرابع : المخلفات الصلبة المنزلية

الفصل الخامس : إدارة المخلفات الخطرة

الفصل السادس : تلوث الهواء

الفصل السابع : التلوث السمعي

الهندسة البيئية

تقديم الكتاب :

موضوعات هندسة البيئة توفر منهج واقعي للأمور المتعلقة بالحفاظ على البيئة المتعلقة بصحة الإنسان وسعادته. هذا المرجع مصمم لاستخدام الدارسين لموضوعات الهندسة البيئية في الكليات والمعاهد. كما يستفاد به في دراسات البيئة للمراحل ما قبل الجامعية، وكذلك للمهتمين بزيادة الوعي الثقافي البيئي وللمهتمين بشئون البيئة من مختلف التخصصات الذين يساهمون في الخدمات البيئية، كمدخل تقني للمعرفة بمشاكل البيئة وحلولها العملية.

نظراً لأن مجال البيئة هو مجال واسع ويحتوي على العديد من الموضوعات فقد تم إعداد هذا المرجع ليتناول الأمور الهامة في جزئين حيث يتناول الجزء الأول الهندسة البيئية ويتناول الجزء الثاني الهندسة الصحية .

وفي الجزء الأول تم تخصيص الفصل الأول للتعرف على المفاهيم الأساسية لشئون البيئة من النواحي الصحية والمتعلقة بالمحيط الحيوي للإنسان. وفي الفصل الثاني تم تناول موضوعات تلوث المياه وأخطارها على البيئة المائية سواء في المجارى السطحية العذبة أو مياه البحيرات أو المياه الجوفية أو مياه البحار مع الإشارة إلى معايير نوعية مياه المجرى المائي وملاءمة استخداماتها. أما الفصل الثالث فقد خصص لموضوع الهيدرولوجي وحصر مياه الأمطار و السيول وفيه تم استعراض الدورة الهيدرولوجية وسقوط الأمطار والمياه السطحية والجفاف أو ندرة المياه والخزانات والمياه الجوفية. وقد تم تخصيص الفصل الرابع لموضوعات إدارة المخلفات الصلبة المنزلية حيث تم الإشارة إلى خواص هذه المخلفات وطرق الجمع والإعداد والتدوير والتخلص بالردم الصحي. وموضوع إدارة المخلفات الخطرة تم تناوله في الفصل الخامس حيث تم توضيح الخواص والكميات، النقل للمخلفات الخطرة وموضوعات المعالجة والتخزين والتخلص وتم استعادة صلاحية أماكن التخلص العشوائي لهذه المخلفات.

وفي الفصول التالية تم تناول موضوعات تلوث الهواء في الفصل السادس والتلوث السمعي في الفصل السابع والفصل الثامن الذي خصص للملاحق الخاصة بتقييم الأثر البيئي واستخدام التخصصات طبقاً لتأهيلها ومعاملات التحويل ووحدات القياس، المعايير

والمواصفات لمياه الشرب وكذا الملاحق الخاصة باللائحة التنفيذية للقانون ١٩٩٤/٤ بشأن البيئة.

وفي هذا المرجع تم تناول الحلول العملية الهندسية لحماية البيئة من مخاطر التلوث بفعل الأنشطة الصناعية والتنمية والسلوكيات الغير رشيدة وذلك بهدف حماية الصحة العامة وتوفير البيئة الصالحة لسعادة الإنسان ورفاهيته.

وكذلك فإن موضوعات هندسة البيئة قد شملت أيضاً موضوعات الهندسة الصحية والتي تتضمن نظم تداول ومعالجات مياه الشرب والصرف الصحي حيث خصص لها الجزء الثاني من هذا المرجع والذي يتكون من ستة فصول حيث شمل الفصل الأول والثاني هيدروليكا المياه ونوعيه المياه والفصل الثالث والرابع تم تناولهما لموضوع تنقيه مياه الشرب وتوزيعها . وخصص الفصل الخامس والسادس لمعالجة مياه الصرف الصحي وتجميعها والتخلص الآمن منها.

والله أسأل أن يحقق ما نبغيه

المؤلف/ مهندس استشاري

محمد أحمد السيد خليل

الفصل الأول

المفاهيم الأساسية (Basic Concepts)

تكنولوجيا البيئة تتضمن تطبيقات المبادئ الهندسية فى تخطيط وتقييم وإنشاء وتشغيل
النظم الآتية :

- توضيح لمفهوم هندسة البيئة.
- تلوث المياه وانعكاساتها على البيئة.
- حصد مياه السيول والأمطار.
- إدارة المخلفات الصلبة المنزلية والمخلفات الخطرة.
- حماية الهواء من التلوث ومقاومة التلوث السمعى.
- التصحاح البيئى للمجتمع.

الإمكانيات والإنشاءات التى تخدم هذه المهام، تشمل خطوط المواسير، محطات
الضخ، محطات المعالجة، أماكن التخلص من المخلفات، المساهمة فى جزء كبير من البنية
الأساسية للمجتمع. الأعمال الخاصة والعامة التى تمكن المجتمع الإنسانى ليمارس نشاطه
بحيوية وإنتاجية.

الدور العملى لتكنولوجيا البيئة يتضمن هدفين أساسيين وهما:

- ١- حماية الصحة العامة بمنع إنتشار الأمراض بين المواطنين.
 - ٢- المحافظة على البيئة الصحية وذلك من خلال المحافظة على نوعية البيئة
الطبيعية بما فيها الماء، الأرض، الهواء، النباتات، الحيوانات.
- وفى الواقع، يوجد تطابق كبير بين هذين الهدفين بسبب العلاقة بين نوعية الظروف
البيئية والحالة الصحية الأمنة للبشر. أيضا فى الواقع فإن مصطلحات الصحة العامة
والبيئة الصحية هما عادة مترادفين.
- الصحة العامة تشمل أكثر من مجرد عدم وجود المرض. فهى حالة السعادة والراحة
الطبيعية والنفسية. نظافة واستحسان كل ما هو حولنا والهواء والأنهار والبحيرات
والغابات والمساحات الخضراء وكذلك المدن والقرى. كل هذا له التأثير المباشر على هذه

والغابات والمساحات الخضراء وكذلك المدن والقرى. كل هذا له التأثير المباشر على هذه الحالة من السعادة والراحة، والتصحيح (صيانة الصحة العامة) (Sanitation) أى أن الارتقاء بالنظافة العامة هو ضرورة أساسية فى التأثير على حماية الصحة العامة وتوفير البيئة الصحية.

وتكنولوجيا البيئة تعتبر عادة جزء من تخصص الهندسة المدنية والتي ارتبطت بالتخطيط والتصميم وإنشاء وتشغيل المرافق ووسائل الخدمة اللازمة لتوفير البيئة الصحية. وحتى وقت قريب كان هذا التخصص ضمن الهندسة كان له عدة تسميات. حيث كان يسمى :

الهندسة الصحية Sanitary Engineering

هندسة الصحة العامة Public Health Engineering

هندسة الحماية من التلوث Pollution control Engineering

هندسة البيئة الصحية Environmental Health Engineering

ومهما كانت التسمية، فإن المطلوب طاقم من ذوى المعرفة والمهارة من المهندسين والتقنيين والفنيين لتنفيذ هذه المهام الأساسية.

تكنولوجيا البيئة تعتبر مجال متداخل (Interdisciplinary) ذلك لأنه يجمع العديد من الموضوعات التقنية المختلفة. فبالإضافة إلى المجالات التقليدية للهندسة المدنية مثل الهيدروليكا والهيدرولوجى فإنه يشمل البيولوجى، الإيكولوجى (وهو علم الأحياء لدراسة العلاقة بين الكائنات الحية وبيئتها)، والجيولوجى، والكيمياء، وخلافة .. هذا الاختلاف جعل هذا المجال جذاب ويستحق التحدى.

فقد تم إعداد هذا المرجع ليتمكن للدارس الذى لديه القليل من الخلفية الأكاديمية فى بعض أو كل المواد المساعدة من إمكان استخدامة جيداً . إن هذا الفصل هو مراجعة لأساسيات حماية الصحة العامة، البيئة الحياتية والجيولوجيا.

١- نظرة عامة على تكنولوجيا البيئة :

فى دراسة الموضوعات الكثيرة والمختلفة التى تتناول تكنولوجيا البيئة. يكون من المناسب التفهم للمهام الكلية والمشاكل والحلول البديلة المتاحة للمهنيين فى هذا المجال.

لإلقاء الضوء على هذا الموضوع المتسع، فإنه يمكن تصور مشروع هندسى يتضمن تقسيم وتطوير قطعة أرض إلى تجمع سكنى جديد والذي يشمل منشآت سكنية، تجارية، صناعية، خدمية. سواء كان صاحب المشروع جهة حكومية أم تنمية خاصة، فإنه يلزم الأخذ فى الاعتبار كثيراً من المشاكل البيئية قبل البدء فى إنشاء هذا المجتمع الجديد. عادة صاحب المشروع يوكل الخدمات لإستشارى بيئى مستقل لعنونة هذه المشاكل.

إمداد المياه :

أحد المشاكل الأولى التى يتبناها الاستشارى هى توفير إمدادات مياه الشرب النظيفة والأمنة والمتاحة بالكميات المناسبة لتحقيق احتياجات المجتمع الجديد. بعض الأسئلة التى يجب الإجابة عليها هى كالاتى :

١- هل يوجد نظام لإمدادات مياه الشرب قريباً بطاقة تمكن من الاتصال به وخدمة التجمع التتموى الجديد؟ فى حالة عدم إمكان ذلك.

٢- من المفضل بناء نظام مركزى للمعالجة والتوزيع لكل التجمع، أو قد يكون من المفضل استخدام إمدادات آبار منفردة؟

٣- أما فى حالة اختيار محطة معالجة مركزية سيكون:

أ- ما هو نوع عمليات معالجة المياه المطلوبة لتتطابق مع معايير مياه الشرب؟ (المياه من المسطحات المائية كالأنهار والبحيرات عادة تتطلب معالجة أكثر مقارنة بالمياه الجوفية) مع اختبار المصدر وعمليات المعالجة.

ب- ما هو أفضل تصميم هيدرولى لشبكة التخزين والضخ والتوزيع لضمان إمكانية توفر الكميات الكافية من المياه للمستهلكين عند الضغوط المناسبة؟ وذلك لمدة زمنية مقدارها ٢٠ عاماً.

التخلص من مياه الصرف الصحى والمحافظة على المياه من التلوث :

عند توفير المياه إلى المنشآت السكنية والخدمية، فإنه تكون هناك الحاجة إلى التخلص من المياه المستخدمة (الصرف الصحى). والصرف الصحى يحتوى على مخلفات آدمية، مياه نظافة، ومياه غسيل أوانى منزلية وكذلك العديد من الكيماويات فى حالة وصول مياه الصرف من منطقة صناعية أو تجارية. وهى تحمل كذلك كائنات حية دقيقة التى يمكن أن

تسبب الأمراض ومواد عضوية التي يمكن أن تلوث البحيرات والمجاري المائية في حالة تحللها.

سيكون من الضروري تزويد المجتمع الجديد بالوسائل الآمنة للتخلص من الصرف الصحي، ولمنع تلوث المياه وحماية الصحة العامة والبيئة الصحية. وبعض الأسئلة الفنية التي سيتم إعلانها تشمل الآتي :

١- هل يوجد نظام لمعالجة الصرف الصحي بالقرب من التجمع الجديد وبطاقة تمكن من تداول التدفقات الإضافية من المجتمع الجديد؟ في حالة عدم وجود ذلك.

٢- هل الظروف الجيولوجية المحلية مناسبة للتخلص تحت السطح لمياه الصرف (عادة نظم خزانات التحليل)، أو أنه من الضروري توفير محطة معالجة صرف صحي مركزية للمجتمع الجديد والصرف للمياه المعالجة في المجرى المائي القريب؟. إذا كان المطلوب هو المعالجة والصرف الصحي.

٣- ما هي الدرجة أو المستوى المطلوب لمعالجة مياه الصرف لمنع تلوث المياه؟ هل ستكون طريقة المعالجة الثنائية التي تزيل ما لا يقل عن ٨٥% من الملوثات القابلة للتحلل البيولوجي طريقة مناسبة؟ أم أنه يلزم شكل آخر من المعالجة المتقدمة لتتطابق مع معايير الصرف على المسطحات المائية.

٤- هل تدفق مياه الصرف الصناعي عامل هام؟

٥- هل يمكن استخدام بعض أنواع التخلص على الأرض (Land Disposal) لمياه الصرف الصحي المعالج، مثل الري بالرش، بدلاً من الصرف على المجرى المائي؟

٦- ما هي الطرق التي سيتم استخدامها لمعالجة الحمأة أو المواد الصلبة البيولوجية (Biosolids) والتخلص منها والتي تم إزالتها من مياه الصرف؟

٧- ما هو أفضل مخطط وتصميم هيدروليكي لنظام جمع مياه الصرف الصحي لإمكان إرسالها إلى وحدة المعالجة المركزية مع أدنى حاجة لعملية الضخ؟

إدارة وتصريف عاصفة الأمطار : (Storm water management)

تنمية المساحة من الأرض للسكنى والاستخدام تعمل على زيادة حجم ومعدل تدفق المياه فوق الأرض سواء كانت من المطر أو من إذابة الثلوج. أساسا يرجع هذا بسبب إنشاءات الطرق والأرصفة أو الأسطح الأخرى الغير مانعة لنفاذ المياه، والتي تمنع تسرب

المياه إلى جوف الأرض. زيادة معدل سقوط الأمطار قد يسبب الطفح، ونحت التربة، تلوث المياه سواء في الموقع أو تحت التيار. الآتي بعض الأسئلة التي يجب أن يراجعها الاستشاري.

- ١- ما هي أفضل طريقة لتخطيط وتصميم هيدروليكي لنظام الصرف السطحي الذي سوف يمنع حدوث الطفح والفيض المحلي أثناء الفترات الزمنية لحدوث الأمطار؟
- ٢- ما هي كثافة واستمرار حدوث الأمطار التي سيتم تصميم النظام لتداولها بدون حدوث زيادة في التغذية أو زيادة في الفيض؟
- ٣- هل الضوابط المحلية لاستخدامات الأراضي تحتاج إلى إضافات التي تجعل الإنشاءات المقامة لمعدلات الهطول تساوى أو تقل عن كمية الهطول في المساحة الأرضية قبل تدميرها.
- ٤- ما هي أفضل وسيلة لإدارة عملية خفض ذروة التدفقات من الأمطار وحماية نوعية المياه أثناء فترات سقوط الأمطار.
- ٥- ما هي التدابير والاحتياطات التي يمكن عملها أثناء وبعد الإنشاء لخفض المشاكل المتعلقة بنحت التربة أثناء التدفقات؟
- ٦- ما هي أفضل طريقة لإدارة التدفقات المشتركة في شبكات الصرف القديمة.

إدارة المخلفات الصلبة والخطرة : Solid and Hazardous Waste Management

التنمية لتجمع سكني جديد (أو نمو تجمع قائم) سيؤدي حتما إلى زيادة المخلفات المنزلية والصناعية. جمع والتخلص من المخلفات الصلبة هو من مسئولية الإدارة المحلية. ولكن بعض المخلفات من المصادر الصناعية يمكن أن تكون خطرة وتتطلب طرق خاصة للتداول والتخلص.

توجد علاقة مؤكدة بين الصحة والبيئة الصحية وتداول المخلفات الصلبة والتخلص منها. عدم التخلص المناسب من المخلفات المنزلية الصلبة يمكن أن يؤدي إلى انتشار الأمراض مثل التيفوس والطاعون بسبب توالد وتكاثر الفئران والهوم.

كذلك فإنه في حالة التخلص الجيد من المخلفات المنزلية في مدفن للقمامة أو على الأرض، فإنه من المحتمل كذلك حدوث تلوث للمياه السطحية والمياه الجوفية خلال مياه الغسيل (Leachate) في حالة سقوط الأمطار على مقالب القمامة وتسرب المياه الحاملة

للملوثات إلى المياه السطحية أو الجوفية. كذلك فإن حرق المخلفات قد يسبب تلوث كبير للهواء الجوى فى حالة عدم التحكم الجيد فى تكنولوجيا الحرق.

المخلفات الخطرة مثل الكيماويات السامة أو القابلة للاحتراق من العمليات الصناعية، يجب أن تلقى الاهتمام الخاص بالنسبة للتخزين، والجمع، والنقل والمعالجة ثم التخلص النهائى. هذا ضرورى خاصة لحماية نوعية المياه الجوفية التى هى مصدر الإمداد بالمياه لكثير من المواطنين.

بعض الأسئلة العامة المتعلقة بالتخلص من المخلفات الخطرة والصلبة فى التجمع السكانى الجديد تشمل الآتى :

١- هل توجد إمكانيات لتدوير المواد فى خدمة الموقع؟ ماذا ستكون متطلبات الحفظ، الجمع، والتدوير (مثلا، هل سيكون هناك ضرورة لفصل المخلفات المنزلية عند المصدر)؟

٢- هل ستكون هناك حاجة إلى معدات (مثل تلك التى تقوم بالتقطيع أو الطحن أو الخلط أو الحرق) لخفض حجم المخلفات وتحسين خواص تداولها.

٣- هل توجد مساحة مناسبة للدفن الصحى، وهلى ستكون بالطاقة الكافية لتداول الكميات الزائدة من المخلفات الصلبة لفترة زمنية مناسبة؟ (رغم المجهود لتدوير المخلفات الصلبة أو لخفض حجمها، فإن بعض المواد يلزم التخلص النهائى منها فى الأرض بطريقة بيئية صحيحة). فى حالة عدم ذلك.

٤- إذا كان هناك موقع مناسب لإنشاء وتشغيل منطقة ردم جديدة لخدمة المنطقة؟ (الموقع الحديث للردم الصحى يجب أن يحقق المتطلبات الطبوغرافية، الجيولوجية، الهيدرولوجية، والاعتبارات البيئية الأخرى).

٥- هل الأنشطة التجارية والصناعية سوف تنتج مخلفات خطرة، إذا كان ذلك كذلك، فما هى التدابير اللازم عملها لجمع ونقل ومعالجة تلك المادة؟ هل توجد منطقة ردم آمنة ومتاحة للتخلص النهائى، أو أنه يجب إنشاء منطقة جديدة لخدمة المنطقة.

الوقاية من تلوث الهواء ومن التلوث السمعى : Air and Noise Pollution Control

معظم مصادر تلوث الهواء تشمل حرق الوقود لإنتاج الطاقة، بعض العمليات الصناعية، السيارات بأنواعها. يمكن التحكم فى استخدام وقود السيارات وتطويره، كذلك فإن المنشآت الصناعية يجب أن تستخدم أساليب وتقنيات حماية الهواء من التلوث.

حجم الحركة المرورية من الطبيعي أنه سيزداد، بما يؤدي إلى زيادة في أذخنة الحريق من المركبات بأنواعها المختلفة. ولكن التخطيط المناسب والجيد للطرق ونظام المرور يمكن أن يقلل من عملية التوقف والسير المروريه، بذا يمكن تقليل كمية تلوث الهواء في المنطقة.

عادة فالإستشارى والقائمين بمهمة التنمية يجب أن يقوموا بإعداد بيان للأثر البيئى (EIS - Environmental Impact Statement) والذي يقوم بوصف الحركة المرورية، تقدير المستويات المتوقعة من ملوثات الهواء. بالإضافة إلى تلوث الهواء فإن الإعداد الكامل لبيان الأثر البيئى (EIS) سوف يتناول كل الآثار البيئية الأخرى المرتبطة بالمشروع المقترح.

والتلوث السمعى يمكن اعتباره أحد أنواع تلوث الهواء الذى فى شكل طاقة مهدرة - ذبذبات صوتية - التلوث السمعى يكون ناتج الأنشطة الإنشائية ذات الأثر المستمر أو المؤقت . ولذلك فإنه يجب ملاحظة القيود على معدات الإنشاء وساعات العمل لخفض الأثر السلبى على البيئة. التأثير على المدى الطويل بالنسبة لإنتاج الأصوات يكون سببه زيادة كمية المركبات المرورية. وهذا عامل بيئى آخر الذى يجب أن يؤخذ فى الاعتبار بواسطة الإستشارى.

عوامل بيئية أخرى : (Other Environmental Factors)

يجب مراعاة المساحات الخضراء والكائنات البرية فى أى مشروع لتنمية الأرض. تدمير وإتلاف المساحات الخضراء والغابات الخشبية لتوفير مساحات من الأراضى لإقامة منشآت جديدة. فتدمير المساحات الخضراء يمكن أن يؤدي إلى مشاكل بيئية كبيرة بين الكائنات الحية والبيئية المحيطة بها، وخاصة إذا كانت هناك سلاسل نادرة أو مهددة بالانقراض فى تلك المنطقة. قطع الأشجار والرصف فوق المساحات الخضراء يمكن أن يسبب النحر والبرى فى التربة وبالتالي إحداث الترسبيات فى المسطحات المائية. وعلى المدى الطويل فإن هذا يسبب هجرة الحيوانات البرية إلى أماكن أخرى مناسبة قريبة، وإلا فإن كثيراً من هذه الأجناس يمكن أن يختفى من المنطقة كلية.

العلاقات البيئية المتبادلة : (Environmental Interrelationships)

فى التقديم السابق لتكنولوجيا البيئة تم تناول العديد من العوامل ذات العلاقة المتبادلة والتداخل فيما بينها كما هو موضح فى الشكل (١/١). وفى الكتاب المدرسى يكون من

الفصل الأول

الضرورى تنظيم تلك العوامل فى أبواب وفصول. ولكن هذا فقط للإفادة والملاءمة الأكاديمية. والعلاقات البيئية المتبادلة يجب دائما مراعاتها. فتتلوث الماء، الأرض، الهواء، هو جزء من مشكلة واحدة.

أحيانا بسبب عدم توقع هذه العلاقات البيئية والتطابق، فإن حل أحد المشاكل البيئية بدون سابق إنذار يسبب وجود مشاكل مختلفة. فمثلا، استخدام المحولات الحفازة (Catalytic Convertors) منذ عام ١٩٧٠ لخفض الضباب الدخانى (Smog) الناتج عن غاز عادم السيارات وجد أنه يساهم فى مشاكل مختلفة لتلوث الهواء - مثل الحرارة الكونية (Global Warming) أو تأثير غاز الصوبة. المحولات الحفازة يمكن أن تنتج كميات كبيرة من أكسيد النيتروز (الغاز المضحك) والذي هو غاز قوى الذى يمكنه حجز الطاقة الحرارية بما يسبب حدوث دفء فى الجو (الاحتباس الحرارى).

مثال يشمل تلوث المياه الجوفية والمياه الأرضية فى بعض المدن بواسطة مادة كيميائية عضوية (Methyl Tertiaryl Butyl Ether) التى تضاف إلى الجازولين لخفض تلوث الهواء (يخفض تركيز أول أكسيد الكربون والأوزون فى الهواء). فقد ثبت تلويته للمصادر المائية من خلال التسرب من خزانات الوقود تحت الأرض وهذه المادة الكيميائية مسرطنة وتعطى للماء مذاقا ورائحة منفردة حتى عند التركيزات المنخفضة جدا.

ومع زيادة المعرفة فى المستقبل بخصوص تأثير التداخل والتطابق فى الظواهر البيئية، فإن المهندسين سيمكنهم إيجاد نظم للحماية من التلوث الذى ليس له تأثيرات ضارة غير متوقعة على عناصر بيئية أخرى مع القدرة على تجنب حالات مثل التى سبق الإشارة إليها.

٢- الصحة العامة : (Public Health)

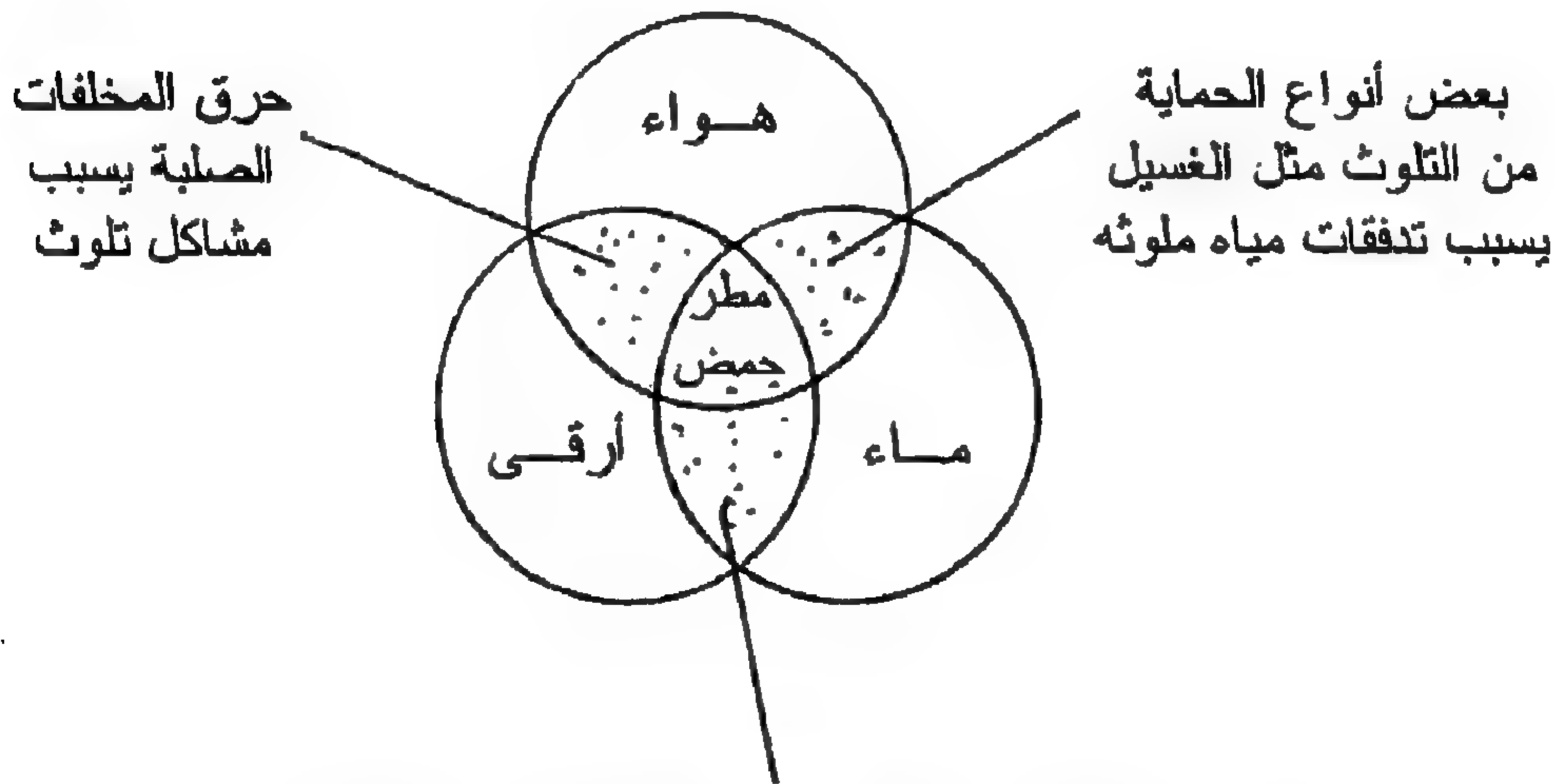
إن منع انتشار الأمراض وبالتالي المحافظة على صحة المواطنين يعتبر دورا أساسيا لتكنولوجيا البيئة. فى حماية الصحة العامة هى بطبيعة الحال من اهتمامات الأطباء. ولكن التكنولوجيا الهندسية تقوم كذلك بدور كبير فى هذا المجال. وفى الواقع، فإن المستوى الصحى العالى للسكان وفى الدول المتقدمة يعود إلى حد كبير إلى إنشاء وتشغيل النظم الحديثة لمعالجة المياه والحماية من التلوث. كما أن انتشار الأمراض لعدم وجود المرافق المناسبة هو المشكلة الرئيسية لملايين البشر وخاصة فى الدول النامية. وتنقسم الأمراض إلى قسمين رئيسيين وهما الأمراض المعدية والأمراض الغير معدية. فالأمراض المعدية

هي تلك الأمراض التي يمكنها الانتقال من شخص إلى آخر بأى وسيلة. أما أنواع الأمراض الغير معدية المتعلقة بتكنولوجيا البيئة هي تلك المرتبطة بتلوث الماء، الهواء أو الغذاء. الملوثات هي عادة ملوثات كيميائية من الأنشطة الصناعية، ذلك رغم أن المواد السامة البيولوجية يمكن أن تسبب المرض.

الأمراض المعدية :

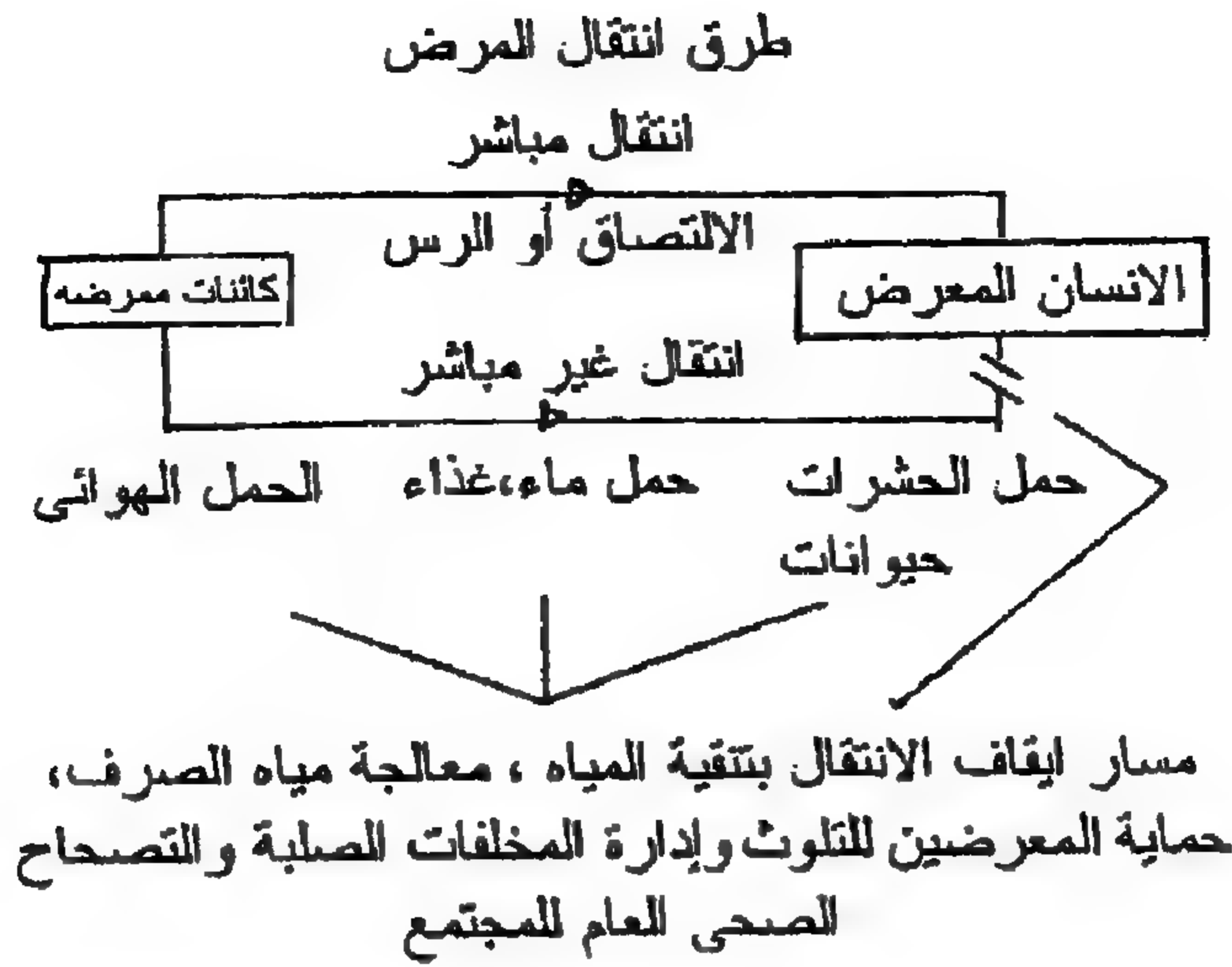
الأمراض المعدية تكون عادة بسبب الميكروبات. وهذه الكائنات المجهرية تشمل البكتيريا، البروتوزوا، الفيروسات. معظم الميكروبات من المكونات الأساسية في البيئة ولا تسبب الأمراض. ولكن تلك التي تسمى الكائنات الدقيقة الممرضة (Pathogens) هي المسببة للأمراض المعدية.

الطرق التي ينتقل بها المرض من شخص إلى آخر تختلف كثيراً وهي تسمى طرق العدوى وموجزه في الشكل (١/٢). من المهم التفرقة بين الطرق المختلفة للانتقال لاستخدام الطرق المناسبة لمنع الانتقال المباشرة والانتقال الفوري للكائنات الممرضة من الشخص الحامل (الشخص المعدى) إلى الشخص ذو الالتصاق المباشر مع الشخص الحامل ومعرض لحمل المرض.



مياه غسالة التربة (Leachate) التي تتسرب خلال مدافن المخلفات يمكن أن تسبب تلوث للمياه السطحية والمياه الجوفية

شكل (١/١) معظم المشاكل البيئية المتعلقة بنوعية الهواء، الماء، التربة هي عوامل متداخلة مشكلة المطر الحمضي كمثال يكون يسبب تلوث الهواء، وهي تدمر كلاً من النظام المائي والأرضي الإحيائي



شكل (١/٢) الأمراض المجتمعة تنتشر بطرق مختلفة
كثير منها يمكن منعه باستخدام تكنولوجيا البيئة.

من الطبيعي أن مقاومة هذه الطريقة من طرق الانتقال ليست ضمن مجال تكنولوجيا البيئة، فهي من اهتمامات القطاع الصحي والوقائي (الذي يوفر المناعة والحجر الصحي لحاملي العدوى).

يمكن تطبيق تكنولوجيا البيئة لتقاطع كثير من أشكال الانتقال الغير مباشر. الطرق الثلاث الغير مباشرة لنقل المرض هي : الحمل بالهواء (Airborne)، الكائنات الناقلة (جراثيم، حشرات) والتي تسمى Borne.Vector ، الأدوات الناقلة (Vehicle Borne)، الانتقال الهوائي يشمل انتقال الميكروبات من الشخص الحامل ثم الالتصاق بالضربات الملوثة أو بحبيبات الغبار العالقة في الهواء. وهذه هي الأقل بالنسبة للشكل الغير مباشر.

الكائنات الناقلة وهذه تشمل الحشرات، القوارض والكائنات الأخرى التي يمكنها نقل الميكروبات الممرضة إلى الأشخاص المعرضين للالتصاق. الكائنات الناقلة للميكروبات المعدية تسمى الحاضن الوسيط في حالة نمو الميكروبات في جسم الناقل قبل أن يصبح معدى للإنسان. الأمراض التي تحملها الكائنات الناقلة يمكن مقاومتها إلى درجة ما بالإجراءات الصحية المناسبة.

أدوات انتقال المرض هي أي غرض غير حي أو مادة تكون ملوثة بالكائنات الممرضة. فمثلاً، الملاعق والشوك، المناديل، الملابس الملتصقة بالترربة، حتى لعب

الأطفال تعتبر أدوات انتقال جيدة. فهي يمكنها حمل ونقل الكائنات الممرضة من الشخص الحامل إلى الملتصق.

كذلك الماء، الغذاء، اللبن أدوات انتقال للأمراض، وهذه ربما تكون الأكثر أهمية بالنسبة لتكنولوجيا البيئة والإصحاح - الماء بالتحديد يقوم بدور رئيسي في انتقال الأمراض المعدية، ولكنه هو الأكثر عرضة للسيطرة التكنولوجية والهندسية. مرافق معالجة المياه ومياه الصرف توقف بشدة انتقال المياه الحاملة للأمراض.

أنواع الأمراض المعدية :

الأمراض التي تحملها المياه ويحملها الطعام ربما تكون من أكثر أنواع الأمراض المعدية التي تحتاج إلى وقاية. فاستخدام المبادئ الصحية وتكنولوجيا البيئة قد ساعد كثيراً على التخلص من انتشار هذه الأمراض في الدول المتقدمة تكنولوجياً.

الأمراض التي يحملها الماء والغذاء تسمى كذلك أمراض معوية ذلك لأنها تؤثر على الجهاز الهضمي للإنسان. الكائنات الدقيقة الممرضة (Pathogens) يتم إفرازها ضمن غائط الشخص الحامل للمرض.

إذا حدث أنه تم وصول هذه الكائنات الدقيقة الممرضة إلى الجهاز الهضمي بواسطة الغذاء أو الماء الملوث، فإن دورة المرض من المحتمل أن تستمر وتنتشر بشكل وبائي (Epidemic).

أعراض الأمراض المعوية تشمل الإسهال، القيء، والحمى، الغثيان (دوار البحر). الأمراض المعوية يمكن أن تضعف أعداد ضخمة من الأفراد في شكل وبائي أحياناً تسبب الوفاة لأعداد كثيرة من حاملي المرض.

المياه الملوثة بمياه الصرف الصحي هي عموماً السبب الرئيسي لهذا النوع من المرض.

الأمراض الشائعة التي تحملها المياه تشمل الدسنتاريا، الكوليرا، التهاب الكبدى الوبائي المعدى، حمى التيفود، والأمراض المعوية (الإسهال، التشنج)، هذه يمكن أن تنقل بالغذاء الملوث أو منتجات الألبان الملوثة. الأمراض التي تسببها البكتيريا السامة (Toxins) تشمل (Botulism , Staphylococcus) المسببة لتسمم الغذاء.

ولكن التبريد والإعداد الجيد للطعام مع مراعاة النظافة العامة لتجهيزات إعداد الطعام والمطاعم تعتبر إجراءات هامة للحد من هذه الأمراض التي يحملها الطعام.

من بين الأمراض المعوية ذات التأثير على الصحة العامة هي تلك الأمراض التي يحملها الماء وهي (Giardiasis , Cryptosporidosis) وكلا هذين المرضين سببهما كائن دقيق وحيد الخلية يسمى البروتوزوا. ولكن مراعاة المعايير المقررة لمعالجة مياه الشرب يمكن أن تحد من هذه الأمراض.

الحشرات الحاملة للأمراض تشمل تلك التي تنقل بواسطة عضات البعوض، القمل، والحشرة التي تمتص الدم (Ticks). الملاريا والحمى الصفراء والتهاب الدماغ (Encephalitis) هي من الأمراض التي تنتشر بأجناس معينة من البعوض. الذباب كذلك ينشر المرض، ولكن ليس بالعض، بل بالالتصاق بأجسامه الحاملة للجراثيم وأجنحته وأرجله مع الغذاء الذي يستهلكه الإنسان فتنتشر أمراض مثل حمى التيفود والأمراض المعوية. التخلص من أماكن توالد وفقس الحشرات هي من أهم إجراءات الوقاية. التخلص الصحي من القمامة يقلل من انتشار أماكن الذباب، وكذلك التخلص من المياه الراكدة هو من أهم الطرق المتاحة للتخلص من أماكن توالد وتكاثر البعوض. المقاومة الكيماوية بالمبيدات هو عادة الملجأ الأخير لكنه يسبب المشاكل الصحية والبيئية المصاحبة لاستخدام المواد السامة.

بالإضافة إلى الحشرات، فإن الحيوانات الأخرى الناقلة للأمراض، هي الكلاب والفئران .. مرض الكلب (Rabies) هو مثال مألوف للمرض الذي ينتشر بعضة الكلب الحامل للعدوى أو أي حيوان آخر، ولكن هذا ليس له علاقة بالظروف البيئية. القوارض الحاملة للأمراض مثل التيفوس (Typhus)، الطاعون الدبلي (المسبب لورم في الغدة الليمفاوية (Bubonic plague) يمكن مقاومتها بتطبيقات تكنولوجيا البيئة. يمكن الحد من تكاثر الفئران بالإجراءات الصحية المحلية، وكذلك منع وصول القوارض إلى القمامة أو الماء. كود المباني الحديثة يشمل المواصفات لحماية المباني من القوارض.

الأمراض الغير معدية :

من الحقائق المؤكدة أن معدلات الوفاة لسكان المدن الحضرية شديدة التلوث أعلا بكثير عن المناطق الخالية من التلوث. وهذا ليس بالضرورة بسبب التلوث بمياه الصرف الصحي وانتشار الأمراض المعدية. وفي الواقع، فإن معظم المشاكل الصحية المتعلقة بالتلوث البيئي تعتبر نتيجة لتلوث الماء والغذاء والهواء بالكيماويات السامة. الأمراض الناتجة ليست معدية. بعض من الأمراض الغير معدية بالتلوث بالكيماويات السامة لها بداية مفاجئة وحادة، والتأثيرات الصحية الفورية والحادة يمكن تعقبها سريعا بسبب ملوث

معين. مجموعة من المواد تعرف بالمعادن الثقيلة معروفة بخطورتها في هذا المجال. بعض الأمراض الأخرى الغير معدية يمكن أن يستغرق سنين حتى يظهر المرض ويسبب مشاكل صحية مزمنة. عموماً مختلف الكيماويات العضوية المخلقة تسبب هذا النوع من المشاكل حتى ولو بتركيزات صغيرة جداً، بعض المواد العضوية تعتبر مسرطنة، بما لها من قدرة على إحداث مرض السرطان في جسم الإنسان.

الرصاص هو أحد المعادن الثقيلة التي تساهم في الأمراض الغير معدية. المشاكل الصحية المرتبطة بالتسمم بالرصاص كانت نتيجة ابتلاع الأطفال لقشور البويات ذات الأساس من الرصاص. التسمم بالرصاص يمكن أن يسبب العمى، أمراض الكلى، والتخلف العقلي (خاصة في الأطفال). خطورة الرصاص كملوث بيئي معروفة، فهو سم تراكمي، أي أنه يتراكم في الأنسجة حتى يصل إلى مستويات السمية. لذلك فإنه تم إيقاف استخدام إضافات الرصاص في الجازولين. كما تم إيقاف استخدامه في شبكات المياه سواء بالنسبة للوصلات المنزلية من الخط الرئيسي والذي تم استبداله بمواسير من البى فى سى وكذلك تم إلغاء استخدام الرصاص كمادة لحام بالملى (Soldering) في خطوط مواسير المياه.

الزئبق هو معدن ثقيل آخر مرتبط بالتلوث البيئي والمرض الغير معدى. فقد لوحظ أولاً عندما تأثرت أعداد كبيرة من السكان قرب أحد الخلجان البحرية فى اليابان (Minamata Bay) فى عام ١٩٥٠. حيث كان يتم صرف مركبات الزئبق فى الخليج من مياه الصرف من المصنع المقام هناك، وهذه كان يتم تناولها بواسطة الأشخاص الذين يأكلون الأسماك الملوثة. وكانت النتيجة انتشار حاد للمرض نتج عنه أمراض العمى، الشلل، وحالات وفاة كثيرة. كذلك أعراض مرضية أقل شدة مثل شلل الأيدي أو ارتعاشها، الحساسية، ضعف الحيوية والنشاط.

أثناء حادثة الخليج اليابانى، كان المعروف أن أبخرة الزئبق ضارة، رغم أن الزئبق المعدنى نفسه لم يكن يعتبر من المواد الخطرة (فقد استخدم لزمان طويل فى مادة حشو الأسنان). والأبحاث بعد حادثة التسمم فى اليابان، أدت إلى اكتشاف أن كائنات دقيقة معينة يمكن أن تسبب اتحاد معدن الزئبق مع مواد أخرى فى الماء، لتكوين مركبات الزئبق الضارة مثل ميثيل الزئبق (Methyl Mercury). هذه المادة كانت تتغذى عليها كائنات صغيرة مجهرية فى الماء تسمى العوالق النباتية أو الحيوانية (Plankton) والتي تدخل السلسلة الغذائية. عند تناول الأسماك الملوثة حدثت حالات مرضية بيمثيل الزئبق.

حادثة تسمم الزئبق في اليابان هي مثال للمرض المفاجئ والحاد المرتبط بالتلوث البيئي. تركيز الملوث كان مرتفعاً نسبياً والآثار الضارة تم ملاحظتها خلال فترة زمنية صغيرة. ولكن يظل السؤال بالنسبة للتأثيرات المزمنة للتركيزات المنخفضة من مركبات الزئبق. عادة يتم اكتشاف كميات صغيرة من الزئبق في الأسماك والكائنات البحرية حتى في المسطحات المائية البعيدة عن الأنشطة الصناعية.

التخلص العشوائي من البطاريات والبطاريات الجافة من المصادر الكبيرة للزئبق. وقد أصبح ذلك مشكلة كبيرة بسبب صعوبة التخلص الصحيح لكثير من البطاريات نتيجة زيادة الصناعات الإلكترونية واستخدام الحاسبات اليدوية، الكاميرات، الساعات.. الخ.

لسوء الحظ فإن الرصاص والزئبق ليسا فقط المواد الكيماوية الضارة التي أصبحت ملوثات للبيئة عند الإدارة الضعيفة. فمثلاً، المبيد الحشري (Kepone) أحدث تلوث شديد لنهر جيمسي (James River) وخليج شيزابيك. نهر هدسون (Hudson River) حدث له تلوث بالمادة الكيماوية السامة (PCB - Polychlorinated Biphenyl) هذه المادة الزيتية استخدمت على نطاق واسع في سائل المحولات الكهربائية، المبردات، البويات والمنتجات الأخرى. وهي تظل في البيئة لأنها مادة غير قابلة للتحلل البيولوجي أي أنها لا تتحلل وتشتت بالعمليات الطبيعية. مادة (PCB) تراكمت في رواسب قاع الأنهار حيث تلوث منها أنواع كثيرة من الأسماك.

مثل المبيد DDT، فقد تم إيقاف استخدام PCB سواء بالتصنيع أو الاستخدام، ولكن نظراً لأن هذه المواد ذات استمرار كبير في البيئة، فإنها ظلت تشكل خطورة على الصحة العامة لسنين طويلة بعد التخلص منها. بقايا من DDT، PCB سوف تظل موجودة في أنسجة أجسام الحيوانات البعيدة عن مصادر التلوث. كلا هاتين المادتين تعتبر مواد مسرطنة للإنسان.

التلوث البيئي بالكيماويات الضارة وما يحدث من أمراض غير معدية هو جزء من المشكلة المعروفة حالياً بالتخلص من المخلفات الخطرة. والتي سيتم مناقشتها في الفصل الخامس من الجزء الأول.

أخيراً فإن كثيراً من الأمراض الغير معدية يكون سببها تلوث الهواء الجوي وهذا سيتم مناقشته في الفصل السادس من الجزء الأول.

٣- الأيكولوجى : (Ecology)

الأيكولوجى هو فرع من علم البيولوجى المرتبط بالعلاقات والتداخلات بين الكائنات الحية والطبيعة المحيطة أو البيئة. الكائنات الحية والبيئة التى معها تتبادل المواد والطاقة معاً يكونان نظام إحيائى (Ecosystem)، الذى هو الوحدة الأساسية لعلم الأيكولوجى. النظام الإحيائى يشمل المكونات الحياتية (Biotic Components)، النباتات والحيوانات الحية - المكونات الغير حية - الهواء، الماء، المواد المعدنية (Minerals)، التربة التى تكون البيئة. المكون الثالث والأساسى لمعظم النظم البيئية الطبيعية هو الطاقة، عادة فى شكل ضوء الشمس.

الأمثلة المألوفة للنظم البيئية ذات الأساس الأرضى أو ما يسمى (Terrestrial) تشمل الغابات، الصحارى، الأدغال، والمروج أى المساحات الخضراء. النظام البيئى (Ecosystem) المائى المبنى على الماء يشمل المجارى المائية، الأنهار، البحيرات، المستنقعات، الخلجان. لا يوجد حد معين لحجم وحدود النظام البيئى. البركة الصغيرة يمكن دراستها كنظام بيئى منفصل، والذى يمكن كذلك للصحراء التى تشمل مئات من الكيلو مترات المربعة.

حتى أن السطح الكلى للأرض يمكن النظر إليه كنظام بيئى، المصطلح المحيط الحيوى (Biosphere) هو المستخدم عادة فى هذا السياق. إذا أمكن تصور أن الأرض هى فى حجم التفاحة، عندئذ فإن طبقة الهواء المحيطة بها سوف لا تكون أكثر سمكاً عن قشرة التفاحة. هذا الغلاف الرقيق من الهواء والقشرة الضحلة من الأرض والماء أسفله مباشرة يوفر المكونات الغير حية (Abiotic Components) التى تعين على الحياة فى المحيط الحيوى. وهو نظام بيئى مقفل ذلك لأنه لا يوجد أساساً أى انتقال من المادة منه أو إليه. فقط التدفق المستمر للطاقة من الشمس التى توفر الطاقة لاستمرار الدورة الحياتية خلال المحيط الإحيائى.

المحيط الإحيائى يبدو كبيراً لدرجة أنه يكون من الصعب أحياناً الاعتقاد بأن الإنسان يمكن أن يؤثر أو يحدث اضطراب وإرباك فى اتزانته الطبيعى. ولكن المشاكل الكونية المتعلقة بتلوث البيئة، مثل المطر الحامضى، ثقب الأوزون، تأثير الصوبة هى من المشاكل الواضحة والتى يجب الحد منها مثل حدوث تغيرات بيئية غير قابلة للتغيير. هذا ومشاكل بيئية أخرى سيتم تناولها فى الفصل السادس من الجزء الأول.

بالإضافة إلى النظام البيئي الطبيعي مثل البحيرات والغابات، فإن العديد من النظم البيئية الصناعية تكون ذات أهمية خاصة في مجال تكنولوجيا البيئة. فمثلاً، أحد أهم طرق معالجة مياه الصرف مبنى على نظام بيولوجي يسمى عملية الحمأة المنشطة. وهذا نظام بيئي هندسي يشمل أحواض من الصلب أو الخرسانة بها أعداد هائلة من الكائنات الحية الدقيقة العالقة في مياه الصرف، ومعدل دخول ثابت من الهواء. الميكروبات هي المكونات الحياتية. هذا النظام يزيل الملوثات العضوية من مياه الصرف. وسيتم مناقشته في الجزء الثاني (الهندسة الصحية).

السلاسل الغذائية والأيض (الاستقلاب) : Food Chains and Metabolism

يوجد مبدآن أساسيين أو قانونيين للإيكولوجي: وهما يشملان التدفق للطاقة في اتجاه واحد وتدوير المواد.

فالطاقة هي القدرة على عمل شغل (حركة). ويمكن تحويلها من شكل إلى آخر مثل التحول من الطاقة الميكانيكية إلى الكهربائية أو من الطاقة في شكل ضوء الشمس إلى طاقة كامنة مخزنة في جزئيات الغذاء، ولكن لا يمكن أن تغنى أو أن تستحدث. لا يوجد تحول للطاقة بنسبة كفاءة ١٠٠%، فالبعض يفقد في البيئة. بسبب هذا فإن الطاقة لا يمكن إعادة تدويرها في النظام البيئي، حيث يمكن فقط أن تنساب في طريق واحد.

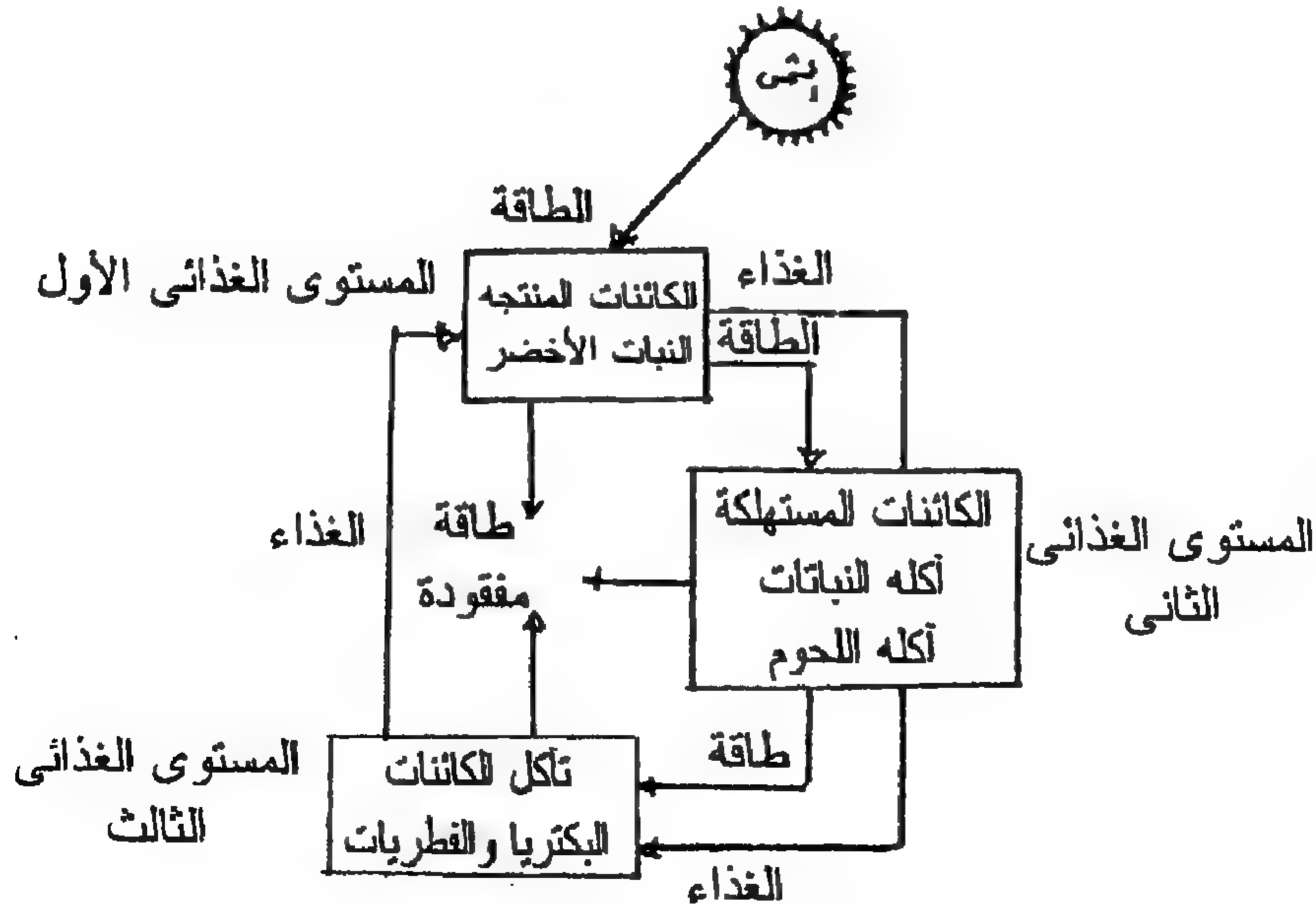
على الجانب الآخر، المواد الغذائية اللازمة لاستمرار الحياة يمكن إعادة استخدامها العديد من المرات. فهي باستمرار يتم تدويرها وإعادة استخدامها في خلال النظام البيئي. السريان في اتجاه واحد للطاقة والتدوير للغذاء موضح في الشكل (١/٣). وهذا شكل مبسط جداً لسلسلة الغذاء، موضحاً ثلاثة مجموعات رئيسية أو أنواع من الكائنات الصغيرة وهي المنتجة (Producers)، المستهلكة (Consumers) والتي تقوم بالتحلل (Decomposers).

العمليات البيولوجية والكيمائية التي بها يستمر الكائن الحي في الحياة تسمى الأيض (Metabolism). وتوجد عمليتين أساسيتين للأيض وهما التمثيل الضوئي (Photosynthesis) والتنفس (Respiration) والتي سيتم مناقشتها باختصار. الكائنات الحية تحتاج إلى الطاقة كما هو موضح في الشكل (١/٣)، المصدر الأول أو الأصلي للطاقة لكل النظم البيئية الطبيعية هو الشمس.

بالإضافة إلى الطاقة فإن الكائنات الحية تحتاج إلى كيماويات معينة من البيئة تسمى المواد الغذائية بكميات كافية. فكل الكائنات تحتاج إلى الماء، ومعظمها يحتاج إلى الأكسجين الغازي. بالإضافة فإن النباتات والحيوانات تحتاج إلى الكربون، الهيدروجين، الفوسفور، البوتاسيوم، اليود، النيتروجين، الكبريت، الكالسيوم، الحديد، المغنسيوم بالإضافة إلى عناصر أخرى بكميات صغيرة. بالنسبة للكائنات الحيوانية فإن بعض من هذه العناصر يجب أن يكون في شكل جزئيات عضوية، مثل الكربوهيدريت أو البروتينات.

التمثيل الضوئي والتنفس: (Photosynthesis and Respiration)

السلسلة الغذائية الموضحة في الشكل (١/٣) تبدأ بما يسميه علماء الإيكولوجي المستوى الغذائي الأول (First Trophic Level) للكائنات المنتجة. هذه هي النباتات الخضراء. فالنباتات الخضراء هي ذات غذاء أولى ذاتي (Auto trophic)، والذي يعنى ببساطة أنها تقوم بتغذية نفسها. فهي لها القدرة الفريدة على تحويل ثاني أكسيد الكربون والماء وبعض مواد الغذاء الأساسية إلى مركبات عضوية التي تقوم بتخزين طاقة الشمس.

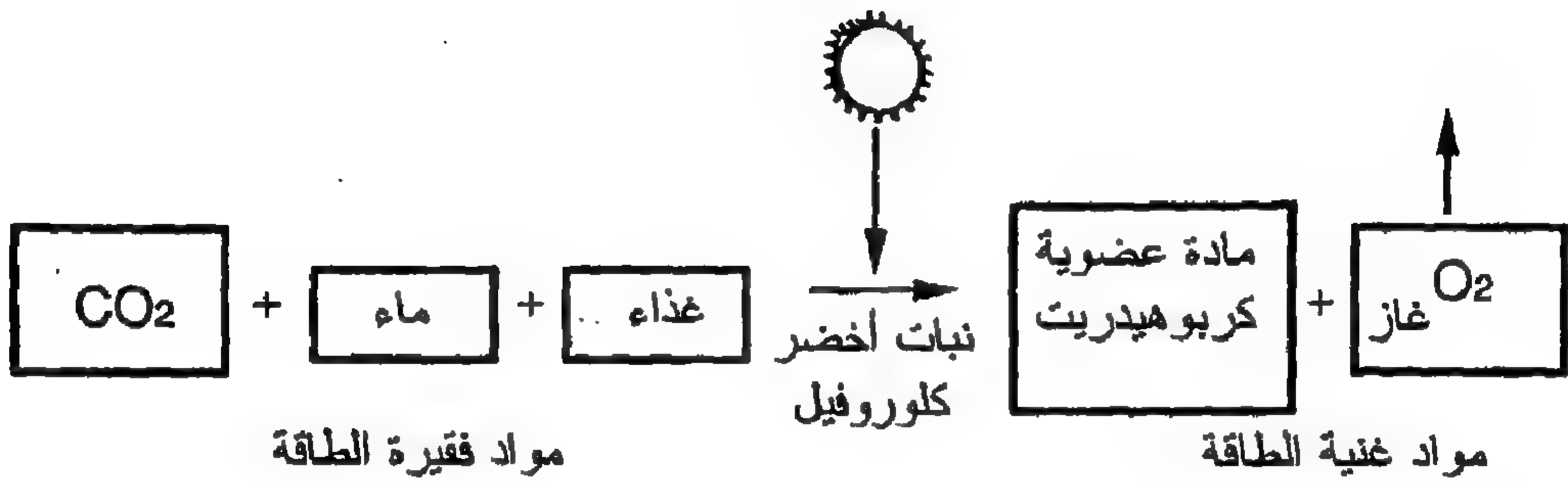


شكل (١/٣) مخطط لسلسلة الغذاء.

مواد الغذاء يعاد تدويرها ولكن الطاقة يجب إمدادها باستمرار من الشمس وكفاءة انتقال الطاقة من مستوى غذاء إلى المستوى التالي أقل من ١٠%

الفصل الأول

العملية الطبيعية تسمى التمثيل الضوئي موضحة في الشكل (١/٤). النباتات تستخدم الطاقة الشمسية لتكوين الكربوهيدرات من ثاني أكسيد الكربون والماء. الكربوهيدرات يمكن كذلك أن يتحد مع النيتروجين، الفوسفور، الكبريت وعناصر أخرى، مكونا مركبات عضوية أخرى والتي هي عناصر البناء للكائنات الحية. الكلوروفيل الصبغة التي تعطى للنبات لونه الأخضر المميز يقوم بدور محوري في حجز الطاقة الشمسية وتحويلها إلى طاقة كيميائية. جزء من المركبات العضوية الغنية بالطاقة المخزنة في نسيج النبات تكون متاحة للاستخدام بواسطة الكائنات الأخرى التي تستهلك النبات عند المستوى الغذائي الثاني.



شكل (١/٤) مخطط لعمليات التمثيل الضوئي. الطاقة من الشمس

يتم تخزينها في الجزئيات العضوية وتكون متاحة للاستخدام بالمستوى الغذائي التالي

أثناء عملية التمثيل الضوئي ينطلق غاز الأكسجين إلى الجو. الأكسجين أساسى للأيض للمستوى الغذائي الثاني في السلسلة الغذائية، المستهلكون. في الواقع فإن الكائنات المستهلكة تشمل العديد من المستويات الغذائية الوسيطة، متضمنة الحيوانات التي تقتات على الأعشاب (Herbivores)، آكلات اللحوم (Carnivores)، والتي تقتات على النباتات واللحوم معا (Omnivores).

الكائنات المستهلكة هي كائنات عضوية التغذية (Heterotrophic)، ليست مثل النباتات ذاتية التغذية (Autotrophic)، التي تصنع غذائها من الكيماويات الغير عضوية البسيطة، الكائنات التي تقتات على العشب يجب أن تستعمل المركبات الغنية بالطاقة المخلقة بواسطة النبات. وبالتالي فإن آكلات اللحوم تحصل على الطاقة لتقوم بالأيض عندما تقتات

على أكالات العشب. الطريقة التي يحصل بها المستهلك على الطاقة من المادة العضوية المخزنة في النباتات والحيوانات التي يأكلها تسمى التنفس (Respiration).

التنفس الموضح في الشكل (١/٥) يمكن النظر إليه كعملية احتراق بطيئة أو أكسدة للمادة العضوية، التي تتطلق فيها الطاقة. أساسا التنفس، هو عكس التمثيل الضوئي حيث ينتج الأكسجين، التنفس يكسر المواد العضوية ويطلق ثاني أكسيد الكربون. التمثيل الضوئي يحتاج إلى ثاني أكسيد الكربون والتنفس يحتاج إلى الأكسجين. وهذا هو أحد عوامل الاتزان الأساسي في الطبيعة.



شكل (١/٥) مخطط للتنفس، عكس التمثيل الضوئي. تتحول المادة العضوية أو تحرق حيث تنطلق الطاقة المخزنة للاستخدام بكائنات المستهلك. الأنزيمات هي الكيماويات التي تساعد في تفاعلات التحول (الأيض) التي تحدث في الخلية الحية.

والسلسلة الغذائية المبسطة الموضحة في الشكل (١/٣) تكتمل أو تقفل بعوامل التحلل (Decomposers) أو كائنات التحلل. وهذه هي أساسا كائنات حية صغيرة مجهرية مثل البكتيريا والفطريات (Fungi). أثناء قيامها بعملية الأيض (Metabilism) والتي يعنى بها مجموعة العمليات المتصلة ببناء الخلايا ودورها، فإن الكائنات الدقيقة هذه تقوم بتكسير المخلفات وبقايا الكائنات الميتة إلى مواد غير عضوية أبسط والتي تكون عندئذ جاهزة للاستخدام بواسطة الكائنات ذاتية التغذية. فمثلا، النيتروجين في الأمونيا غير متاح في النباتات كغذاء لحين تكسيرها وتحويلها إلى النترات الغير عضوية بواسطة بكتيريا معينة. النترات يمكن امتصاصها بواسطة النباتات. ليس فقط القائمين بالتحلل هم الأساس لكل عمليات النظم البيئية، فهي خيول العمل للنظم الهندسية لمقاومة تلوث المياه.

التحلل الهوائى واللاهوائى : Aerobic and Anaerobic Decomposition

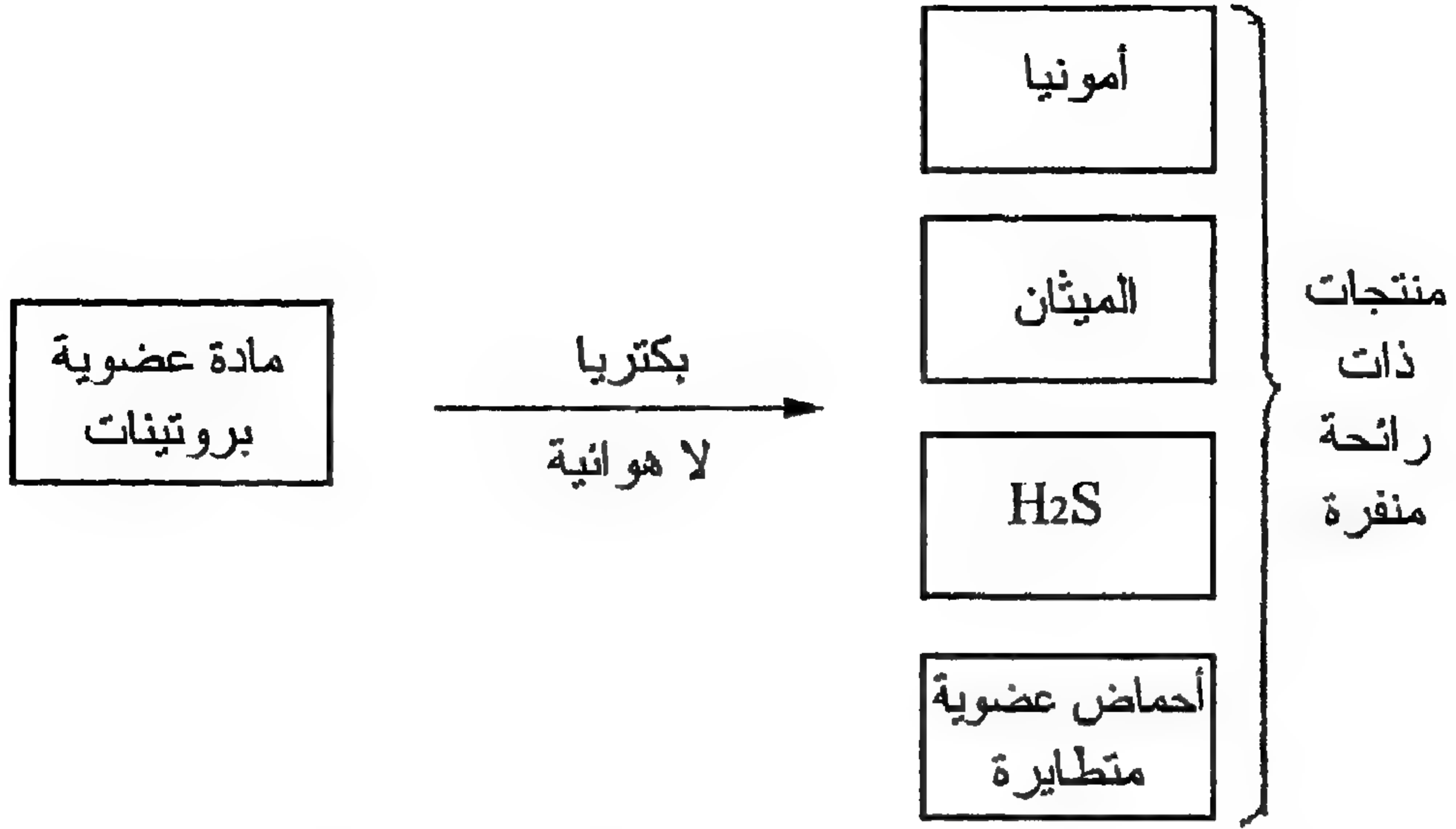
التحلل الذي يحدث في وجود الأكسجين الحر يسمى التحلل الهوائى، والكائنات الدقيقة التي تعيش في الأكسجين تسمى كائنات هوائية (Aerobes). التحلل الهوائى ينتج عنه

أكسدة للكربون، الهيدروجين، الكبريت، النيتروجين والفوسفور المرتبط في جزئيات عضوية معقدة. هذه العناصر تصبح متحدة مع الأكسجين مكونة ثاني أكسيد الكربون، الماء، الكبريتات، النترات، ومواد بسيطة أخرى التي يمكن أن تأخذها النباتات الخضراء للتمثيل الضوئي. الطاقة المنطلقة من الجزئيات العضوية في هذه العمليات تستخدم بواسطة الميكروبات للنمو والتكاثر. التحلل الهوائي هو عملية بيولوجية كيميائية نظيفة وذات كفاءة ولا تنتج الروائح الكريهة المصاحبة عادة بعمليات التحلل.

توجد أنواع معينة من الكائنات الدقيقة القادرة على تحلل المادة العضوية في عدم وجود الأكسجين الحر المتاح. هذه الكائنات الدقيقة تسمى الكائنات اللاهوائية (Anaerobes)، والعمليات تسمى التحلل اللاهوائي. كما موضح في شكل (١/٦)، الناتج النهائي للتحلل اللاهوائي يشمل الميثان، النشادر، كبريتيد الهيدروجين، الأحماض العضوية المتطايرة، وكثير منها يكون مسئولاً عن الروائح الكريهة المصاحبة للتعفن (Putrefaction) (وهو التحلل اللاهوائي للبروتينات). كبريتيد الهيدروجين بالرمز الكيميائي (H_2S)، يسبب رائحة البيض الفاسد.

التحلل اللاهوائي هو عملية بيولوجية ليست ذات كفاءة. رغم أن الكائنات اللاهوائية تأخذ منها الطاقة لنموها وتكاثرها، فإن المنتجات النهائية لازالت غير مستقرة نسبياً ويمكن أن تتحلل ثانياً. التحلل اللاهوائي يشبه الاحتراق الغير كامل. فهو يقوم بدور أساسي في بعض عمليات معالجة المياه. وغاز الميثان وأحد نواتج التحلل اللاهوائي القليلة التي ليس لها رائحة، له قيمة طاقة عالية حيث يمكن الاستفادة منه كوقود، حيث يتم جمعه لهذا الغرض في بعض محطات معالجة مياه الصرف الصحي وكذلك في عمليات الردم الصحي.

نوع التحلل اللاهوائي المفيد في إنتاج مواد غذائية معينة وبعض المشروبات يسمى التخمر (Fermentation). تحلل الكربوهيدرات بالميكروبات بدون أكسجين حر. رغم أنها تستخدم لإنتاج الجبن والكحول، كمثال، فإن بعض أنواع التخمر ليس مرغوباً فيه مثل تلك التي تفسد اللبن (تجعله حامضاً) أو المنتجة لحامض الأسيتيك في النبيذ.



شكل (١/٦) تحلل لاهوائى للبروتينات فى عدم وجود الأكسجين الحر يسمى التخمر

الدورات البيولوجية : (Biological Cycles)

رغم أن النظام البيئى يحتاج إلى مصدر ثابت للطاقة من الخارج، فإن المواد الغذائية التى تعتمد عليها الحياة يمكن تدويرها إلى ما لا نهاية. الممر الذى تتحرك فيه الأغذية الكيماوية خلال المكونات الحيوية والغير حيوية (Biotic - Abiotic) فى النظام البيئى تسمى الدورات البيولوجية الكيماوية (Biochemical) أو دورات الغذاء.

الدورة ذات العلاقة الخاصة بتكنولوجيا البيئة هى الدورة الهيدرولوجية (دورة الماء فى الطبيعة). والتى سيتم مناقشتها فى الفصل الثالث. دورات الغذاء الهامة التى سنتناولها هنا هى دورة الكربون، دورة النيتروجين، ودورة الفوسفور.

الكربون والنيتروجين والفوسفور تعتبر من مواد الغذاء الأساسية ذلك لأن الحاجة إليها تكون بكميات كبيرة نسبياً فى البروتوبلازم، وهى المادة الأساسية التى تعمل منها الخلية الحية، المواد الغذائية الأخرى المطلوبة بكميات كبيرة نسبياً والأساسية للحياة تشمل الهيدروجين، الأكسجين، البوتاسيوم، الكالسيوم، المغنسيوم والكبريت. المواد الغذائية الكثيرة المطلوبة فقط بكميات صغيرة جداً، تشمل الحديد، المنجنيز، النحاس، الزنك والصوديوم.

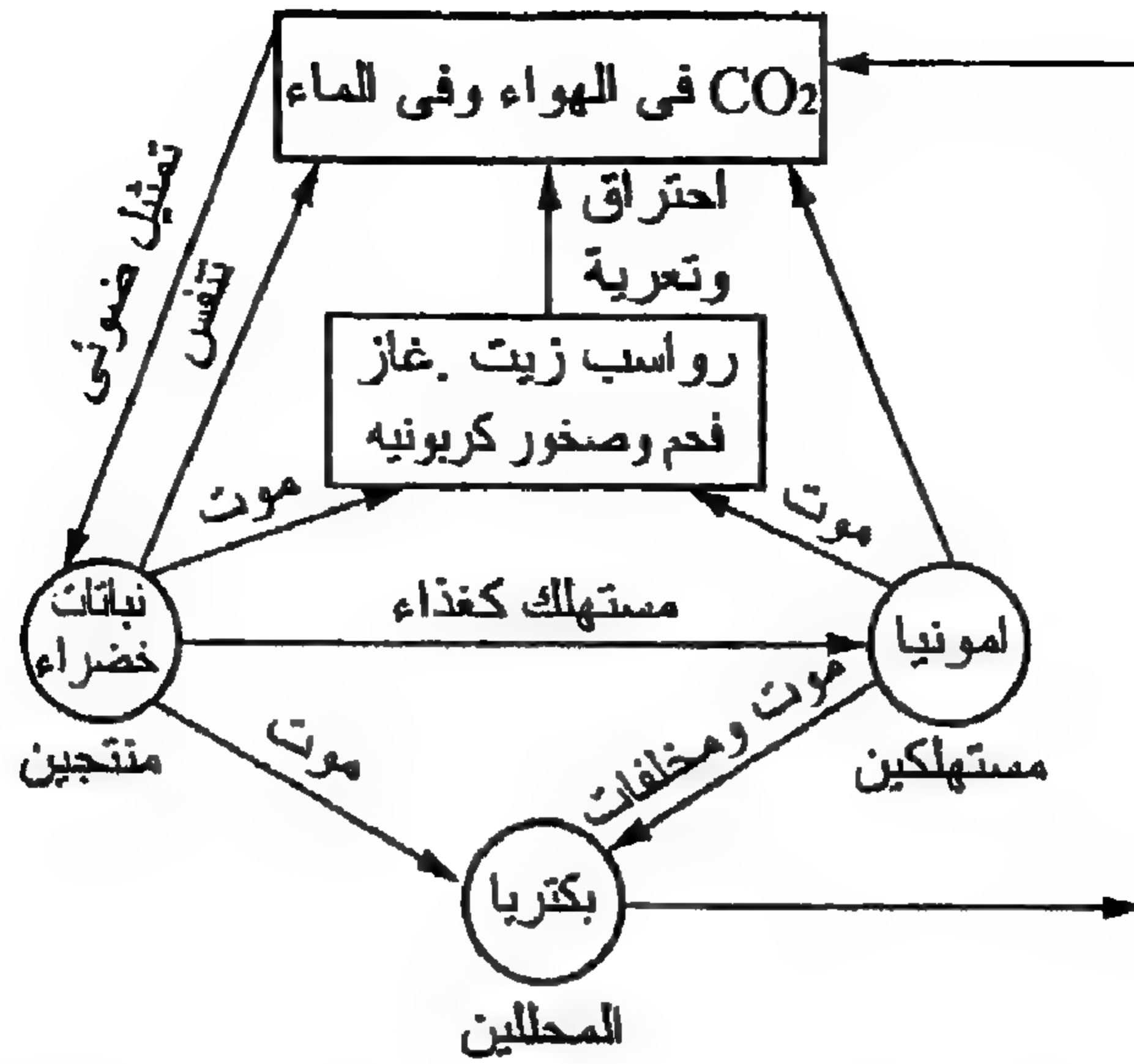
دورة الكربون : Carbon Cycle

ثاني أكسيد الكربون (CO_2) الموجود في الهواء والمذاب في الماء هو المصدر الأول لعنصر الكربون. خلال عملية التمثيل الضوئي، يزال الكربون من ثاني أكسيد الكربون ويدمج مع عناصر كيميائية أخرى في جزئيات عضوية معقدة. ثاني أكسيد الكربون يجد طريقاً ثانياً إلى الجو عند تحلل المواد العضوية ثانياً أثناء عملية التنفس. مخطط لهذه الدورة موضح في الشكل (١/٧).

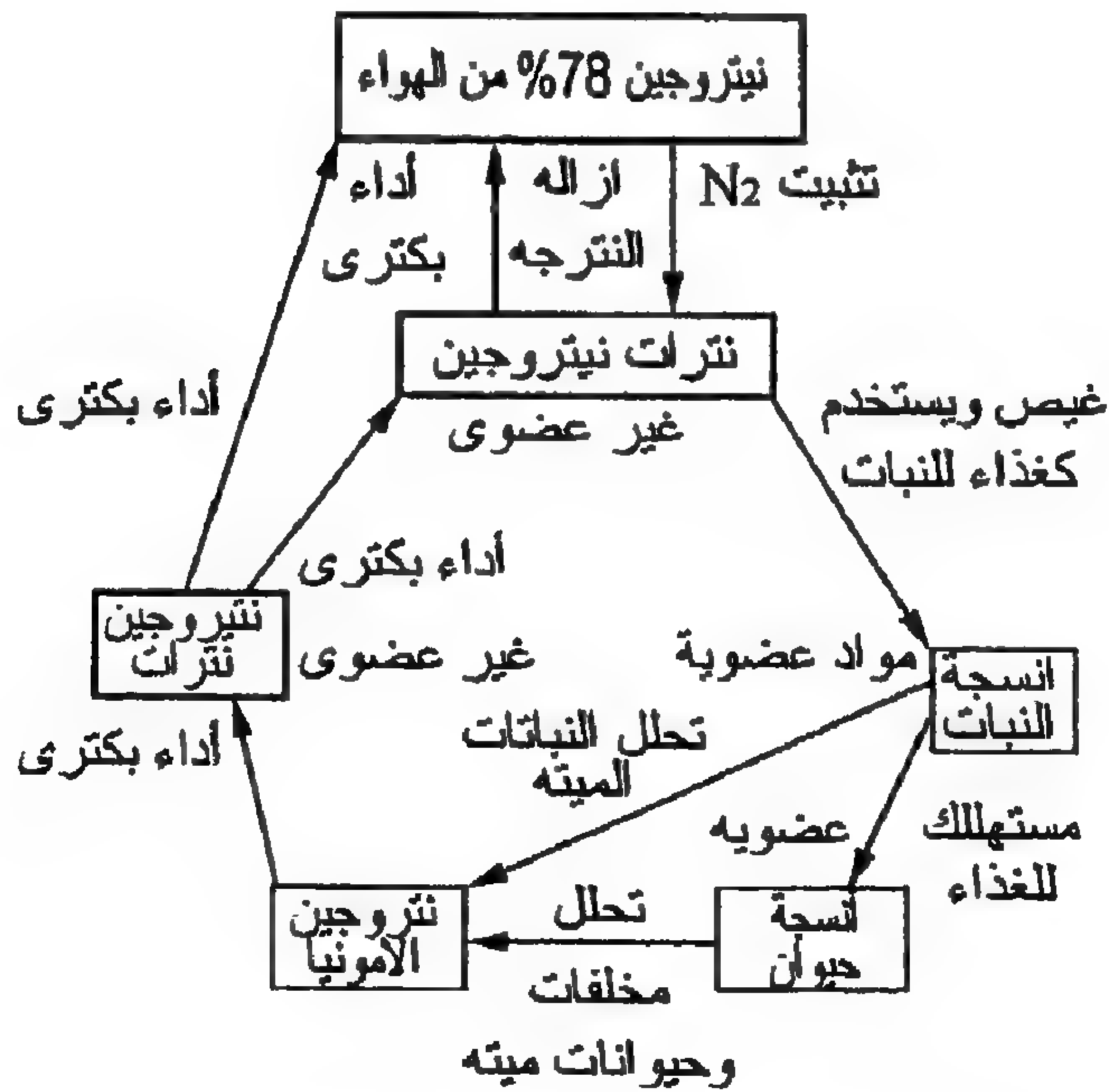
احتراق الوقود الحفري (الزيت والجازولين) للطاقة هو نشاط بشري الذي يزيد من تركيز ثاني أكسيد الكربون في الجو. يؤدي ثاني أكسيد الكربون دوراً في امتصاص الإشعاع الحراري وفي تنظيم درجة حرارة الكرة الأرضية. ارتفاع مستويات ثاني أكسيد الكربون يعمل على ارتفاع متوسط درجة الحرارة. هذه المشكلة تسمى تأثير الصوبة (Green House Effect). سنناقشه في الفصل السادس.

دورة النيتروجين : (Nitrogen Cycle)

حوالي ٧٨% من الغلاف الجوي يكون من غاز النيتروجين (N_2) ولكن في الشكل الجزيئي. النيتروجين يجب أولاً تثبيته في شكل نترات (NO_3)، في الشكل الذي يمكن استخدامه بواسطة النبات أثناء عملية التمثيل الضوئي. فهو أخيراً يتحد مع مواد أخرى ويتحول إلى البروتينات، التي تستهلك بواسطة الكائنات متباينة التغذية والتي لا تستطيع تكوين غذائها (Heterotrophs) وتتكرر ثانياً في عملية التحلل. هذه الدورة موضحة في الشكل (١/٨). النترجة (Nitrification) هي العملية التي فيها يتحول النيتروجين في شكل أمونيا NH_3 إلى نيتروجين النترات، هذه ذات أهمية خاصة في الحد من تلوث المياه.



شكل (١/٧) مخطط مبسط لدورة CO₂. الأسهم تشير إلى الاتجاهات المختلفة لانتقال الكربون خلال المحيط الجوى



شكل (١/٨) مخطط مبسط لدورة النيتروجين

النيتروجين الجزيئي يجب تثبيته أولاً (الاتحاد مع الأكسجين) في شكل نيتروجين النترات قبل الاستخدام بواسطة النبات كغذاء.

الفوسفور هو نوع آخر من الغذاء الذى يقوم بدور أساسى فى النظام البيئى المائى وفى نوعية الماء. بخلاف الكربون والنيتروجين الموجودين أساساً فى الجو فإن الفوسفور يوجد بكميات كبيرة فى شكل مواد طبيعية معدنية فى صخور الفوسفات ويدخل الدورة نتيجة عمليات أنشطة استغلال المناجم وعوامل التعرية. وهذا هو الغذاء الذى يعتبر السبب الرئيسى للنمو الزائد للنباتات المجهرية حرة الطفو وذات الجذور فى المسطحات المائية (السحابات الطحلبية).

الاستقرار، النوع، التعاقب : Stability , Diversity and Succession

جميع أجناس الكائنات الحية تشغل موطن معين وتقوم بدور معين فى النظام البيئى. الوظيفة والمكان يكونان البيئة الأيكولوجية الملائمة (Ecological Niche). الخاصة الأساسية للنظام البيئى المتوازن أو الصحى هو تطابق الأماكن الملائمة (Niches) والتي تشغلها أجناس مختلفة. كلما زاد كان النظام البيئى معقداً بالنسبة للأعداد والتداخل فى العلاقات بين الأجناس المختلفة، كلما أصبح أكثر استقراراً. النظام البيئى المستقر يمكن أن يقاوم ويتحمل بعض الضغوط الخارجية، مثل التلوث، الإنشاءات، أو الصيد بدون أن يحدث له اضطراب أو تدمير.

فى النظام البيئى المستقر، فى حالة اختفاء أى واحد من الأجناس بسبب عوامل طبيعية أو صناعية، فإن أجناس أخرى تكون متاحة لتشغل مكانها وتقوم بدورها فى السلسلة الغذائية. حقيقة، المصطلح، نسيج الغذاء (Food web) أكثر ملاءمة للنظام البيئى الصحى بسبب طبيعة التطابق وتعقيدات العلاقات بين الأكل وما يؤكل. نموذج الغابة الممطرة يعتبر مثال جيد للنظام البيئى المستقر بسبب العدد الهائل من أصناف النباتات والحيوان التى تعيش فيها. فقد نوع واحد من الأشجار أو نوع واحد من الحيوان ليس من المحتمل أن يكون له تأثير واضح على كل النظام البيئى. فى النظام البيئى قليل التنوع، أى حيث قليل الفقد من الأجناس المختلفة من الكائنات، فإنه يكون غير مستقراً ومعرض لتأثيرات الإجهاد. اختفاء مجموعة من الكائنات من النسيج الغذائى من المحتمل كثيراً أن يحدث انكسار فى المستوى الغذائى محدثاً اضطراباً حاداً فى النظام البيئى. لذلك فإن تنوع الأجناس يوفر عامل الأمان أو عامل درئ (Buffer) ضد الاضطرابات الأيكولوجية

(البيئية) بزيادة احتمال التبنى لتغير حالات البيئة. كلما زاد تنوع الأجناس كلما كان النظام البيئي صحيحاً.

رغم أن النظم البيئية المائية مثل المجارى المائية والبحيرات تكون مستقرة عموماً، إلا أنها حساسة بالنسبة للاضطراب الناتج عن الأنشطة البشرية. مخطط للنظام المائي موضح فى الشكل (١/٩). معظم الكائنات المطلوبة بدءاً من الأسماك حتى الكائنات الصغيرة النباتية والحيوانية (البلانكتون) والبكتيريا تحتاج إلى الأكسجين لتعيش.

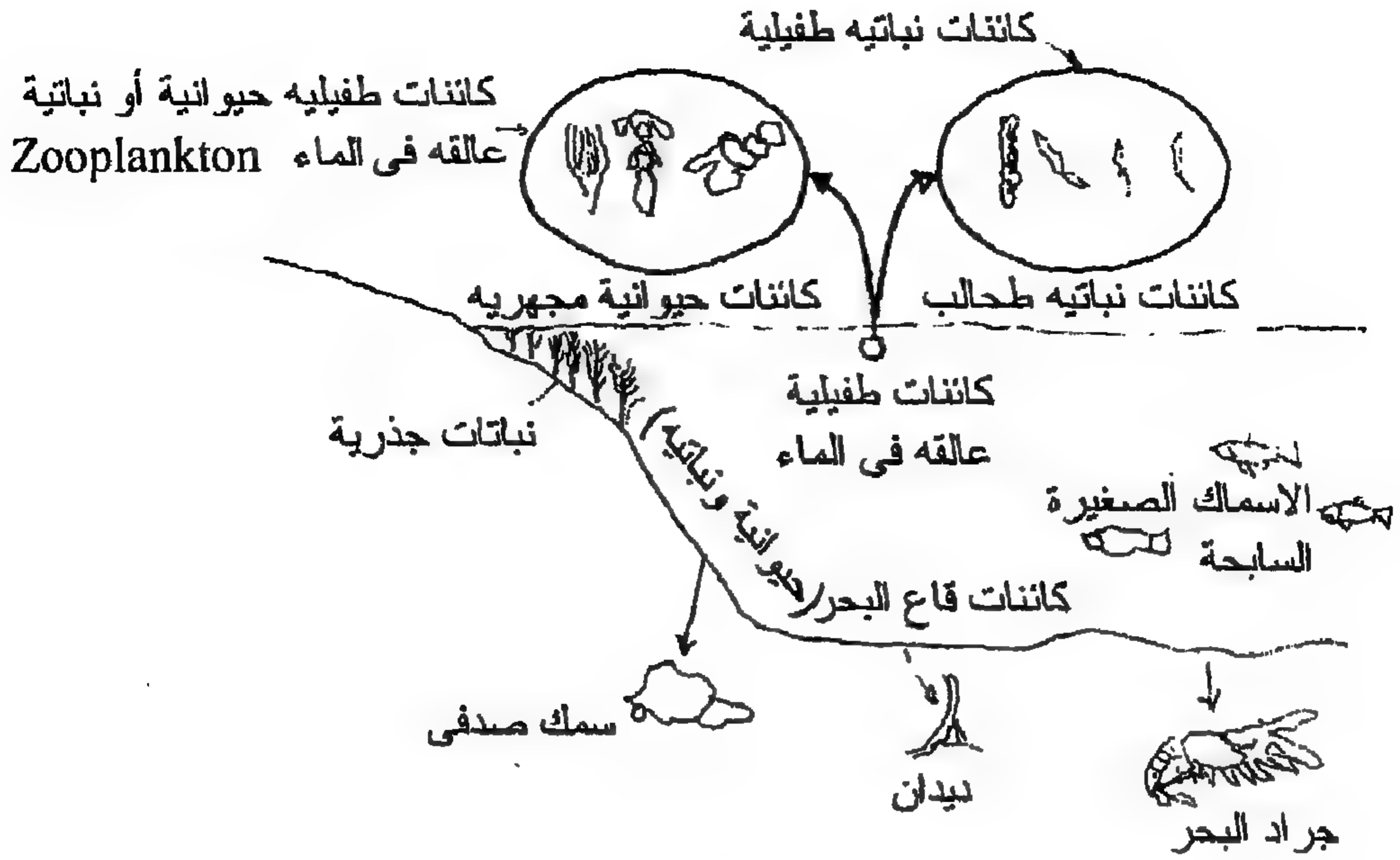
أحد التأثيرات لتلوث الماء هو انخفاض مستوى الأكسجين المذاب فى الماء. هذا النوع من التلوث يغير من الاتزان الايكولوجى، حيث ينشط عدد أقل من أجناس الكائنات القادرة على تحمل المستويات المنخفضة من الأكسجين. فى المياه شديدة التلوث التى يعيش فقط هى ديدان الحماة.

عند دراسة الحالة الصحية أو نوعية المجرى المائى أو البحيرة، قد يستخدم علماء الايكولوجى (فرع من علم الأحياء لدراسة العلاقة بين الكائنات الحية وبيئتها). يمكن أن يستخدموا معادلة لحساب مؤشر التنوع للنظام البيئى.

فى الدراسة الحقلية، عدد الأجناس المختلفة يتم عدّه ويتم تقدير أعداد كل نوع بأخذ عينات من مساحات محدودة. هذه البيانات تستخدم فى معادلة مؤشر الاستقرار، ويتم تحديد مؤشر أو عدد واحد لتمييز النظام البيئى.

عموماً المؤشر المنخفض للتنوع هو دليل للنظام البيئى الملوث، والأجناس القادرة على تحمل التلوث يمكن التعرف عليها بسرعة. فى المجرى المائى النظيف مثلاً، يمكن وجود أنواع مختلفة كثيرة من الأسماك بما فيها سمك البلطى. ولكن فى المجرى المائى الملوث فقط قليل من الأنواع القادرة على التحمل يمكن أن توجد مثل السلور (Cat fish).

من المهم التحقق من أنه حتى النظم البيئية الصحية وذات الاتزان الجيد تتغير مع الوقت فى عملية تسمى التعاقب الطبيعى. فمثلاً البحيرة قد تصبح ضحلة عند تراكم الطمي والمواد العضوية فى رواسب القاع. ومع مرور الوقت تتحول البحيرة إلى مستنقع وأخيراً إلى سبخات. هذا التغير الطبيعى فى البحيرة يسمى فرط النماء الطحيلي (Eutrophication) والذي سيناقتش فى الفصل الثانى. كما هو موضح هنا، هذه العملية الطبيعية يمكن أن تتأثر بفعل الأنشطة البشرية والتلوث.



شكل (١/٩) النظام البيئي المائي

موضحاً مكونات بيولوجية مختلفة للمياه العذبة أو البحرية.

رغم أن البحيرة، المستنقع، السبخات يمكن أن تكون نظام بيئي صحي ومستقر أثناء فترة حياة كل منهم، فإن العمليات الجيولوجية والبيولوجية سوف تسبب التعاقب من مرحلة إلى أخرى. إذا كانت الظروف الجيولوجية وظروف المناخ مناسبة فإن عملية التعاقب الطبيعي سوف تستمر حتى الوصول إلى ذروة المناخ. فمثلاً، السبخات، حيث البحيرة قد أصبحت غابة خشبية في كثير من النظام البيئي المعتدل. التعاقب الطبيعي رغم أنه يحدث خلال فترة زمنية طويلة إلا أن التغيرات ليست عادة منظورة أثناء فترة الحياة البشرية.

الرصد البيولوجي في البحيرات والمجاري المائية :

الحشرات الصغيرة والكائنات الأخرى التي تعيش على قاع المجارى المائية والبحيرات تكون جزءاً هاماً من نسيج الغذاء المائي. علماء الأيكولوجي يسمونها القاعية (Benthic) أي التي تعيش في القاع. اللافقارية الكبيرة (Macroinvertebrates). وهذه حساسة لعوامل كثيرة في بيئتها وهي مفيدة كمؤشر لحالات أو "صحة" المجارى المائية والبحيرات. الرصد الروتيني لهذه الكائنات اللافقارية أو أخذ العينات (حوالي ست مرات

فى العام) يمكن أن يبين المشاكل التى لا يمكن اكتشافها بسهولة بالاختبار الكىماوى، ويمكن كشف مشاكل التلوث التى لا تظهر فى عينات المياه .

الكائنات اللافقارية تعتمد على نوعية المياه المناسبة للعيش. الوقت اللازم لعودة مجتمع حشرات إلى حالته الطبيعية بعد الاضطرابات، مثل تلك الناتجة من التلوث الصناعى يمكن أن يكون فى حدود كثير من السنين للمجارى المائية وعقود للبحيرات. نتيجة لذلك، فإن التغيرات فى أنواعها وفى أعدادها يمكن أن يظهر التلوث من مختلف المصادر. أخذ العينات البيولوجية ورصد هذه التجمعات يوفر طريقة مؤثرة لتعيين ما إذا كان المصدر المائى قد تعرض للتلوث. (من المفضل أخذ العينات إما فى الربيع عندما تكون المرحلة الأخيرة لليرقات ولكن لم تبدأ بعد النضج النهائى، أو فى نهاية الحمل بعد تزواج معظم الأجناس).

تم التقرير عن ما يزيد عن ٤٠٠٠ نوع من الحشرات المائية. هذه الكائنات اللافقارية القاعية هى مجموعة عالية التنوع، والتى تجعل منها دراسة ممتازة للمهتمين بالتغيرات فى التنوع.

التغير فى أعداد المجموعات أو سلوك هذه الكائنات يمكن أن يبين أن الحالات الطبيعية أو الكىمائية خارج حدودها المفضلة. كذلك، وجود العديد من عائلات الكائنات شديدة المقاومة عادة هو دليل لرداءة نوعية المياه.

التكبير البيولوجى : (Biological Magnification)

عندما لا يستطيع الكائن الحى الأيض (Metabolize) أو أن يفرز المادة المعضومة، فإن تلك المادة تتراكم بالتدريج فى الكائن الحى. هذه الظاهرة تسمى التراكم البيولوجى، والذى يشير إلى العملية التى بها الدخول الأول للمادة فى السلسلة الغذائية. والدرجة التى يحدث بها التراكم البيولوجى تتوقف على أيض الكائن الحى (أى عملية بناء البروتينات اللازمة وإذابة المادة. فإذا كانت المادة مذابة فى الدهون، فإنها سوف تتراكم فى الأنسجة الدهنية للكائن الحى. والتراكم البيولوجى له علاقة معينة عندما تكون المادة الجارى تراكمها وتركيزها أنها مادة سامة وملوثة للبيئة وأن الكائن الحى يكون ذو مستوى غذائى منخفض نسبياً فى السلسلة الغذائية.

عند استهلاك كثير من الكائنات الملوثة بواسطة كائن آخر الذى لا يستطيع الأيض أو الإفراز للمادة، فإن تركيز المادة سوف يزداد إلى مستويات أعلا فى الكائن الثانى. هذا التأثير يتم تكبيره عند كل تعاقب للمستوى الغذائى، وهذه العملية تسمى التكبير البيولوجى.

بمعنى آخر، التكبير البيولوجي هو الزيادة المستمرة في تركيز المادة عند تحركها من أحد مستويات السلسلة الغذائية إلى التالية (مثلاً، من البلاتكتون إلى الأسماك إلى الطيور أو إلى الإنسان). التكبير البيولوجي ذو أهمية معينة عند تركيز الكيماويات إلى مستويات ضارة في الكائنات الحية الأعلى في السلسلة الغذائية. حتى التركيزات المنخفضة جداً من الملوثات البيئية يمكن أن تجد طريقها إلى الكائنات في جرعات عالية تكفي لتسبب مشاكل حادة.

ويحدث التكبير البيولوجي فقط عندما تكون الملوثات مقاومة للتأثيرات البيئية (تستمر لفترة زمنية طويلة قبل أن تتحلل إلى مركبات بسيطة، متقلبة، مذابة في الدهون. إذا كانت غير ذات مقاومة فإنها سوف لا تستمر كثيراً في البيئة لتكون مركزة في السلسلة الغذائية). (المادة المقاومة هي المادة التي لا تتحلل بيولوجياً). إذا كانت غير متقلبة، أي ليس من السهل انتقالها أو تحريكها من مكان إلى آخر في الوسط البيئي، فإنه ليس من المحتمل استغلالها بواسطة كثير من الكائنات. أخيراً، إذا كانت مذابة في الماء أكثر منه في الأنسجة الدهنية. فإن الاحتمال الأكبر أن يتم إفرازها بواسطة الكائن قبل أن تتراكم إلى المستويات الخطيرة.

تأثير الـ (DDT) : (Impact Of DDT)

حادثة التسمم بالزئبق نتيجة استهلاك الأسماك الملوثة في الخليج الياباني عام ١٩٥٠ هي مجرد مثال للتأثير الضار للتكبير البيولوجي. المثال التقليدي الآخر يشمل مادة (DDT) وهو اختصار للمادة الكيماوية العضوية (Dichloro Diphenyl Trichloroethane) والتي تستغرق وقتاً طويلاً للتحلل في البيئة. فعمر النصف لها هو ١٥ عام، في حالة انطلاق ١٠ كيلو جرام في الجو من (DDT) في عام ٢٠٠٠، فإن ٥ كيلو جرام تظل مقاومة حتى عام ٢٠١٥، ٢,٥ كيلو جرام سوف تظل حتى عام ٢٠٣٠، وحتى بعد ١٠٠ عام وفي عام ٢١٠٠ سوف يتم اكتشاف أكثر من ١٠٠ جرام من المادة في البيئة. ومن الطبيعي، قبل امتداد هذا الفاصل الزمني فإن بعض من الـ DDT يمكن أن يتم استهلاكه بواسطة الكائنات الحية التي تبحث عن الغذاء، وبذا فإن المادة تدخل في سلسلة الغذاء.

DDT يعتبر سام للحشرات، ولكنه ليس شديد السمية للإنسان، فقد استخدم في الحرب العالمية الثانية لحماية الجنود الأمريكيين من بعوضة الملاريا وكذلك لمنع انتشار حشرة الفراش ومقاومة أمراض حشرة الفراش بين المدنيين في أوروبا. بعد الحرب استخدمت مادة DDT لمقاومة الحشرات التي تهدد الحاصلات الزراعية وكذلك لحماية الإنسان من

الأمراض التي تحملها الحشرات. كأحد أول المبيدات الحديثة المستخدمة كثيراً، إلا أنه في ١٩٦٠ ظهرت بوضوح مشكلة التكبير البيولوجي المتعلقة بمادة (DDT). فقد نشر كتاب الربيع الصامت (Silentspring) في عام ١٩٦٢ حيث حذر من المخاطر البيئية المصاحبة لاستمرار استخدام مادة (DDT). ومنذ هذا التاريخ بدء التوقف عن تصنيع واستخدام مادة DDT. ولكن إذا كانت مادة (DDT) ليست شديدة السمية، لماذا كانت هناك مشكلة مع استخدامها؟ الصعوبة تكمن في الأثر البيئي السيئ لمادة (DDT) على أعداد الطيور، وخاصة بالنسبة لترقيق أغلفة البيض والأثر الضار لترقيق البيض وحياة قفس البيض. فالعقاب التي تألف البحار وتأكّل السمك (Ospreys) والنسر الأصلع قد تأثرت كثيراً مثل باقي الأنواع. ومنذ توقف استخدام مادة (DDT) في الولايات المتحدة في عام ١٩٧٢ تم استعادة تجمعات كثيرة من الطيور، ولكن التعرض في البلاد الأخرى يمكن أن يظل مشكلة لبعض أنواع الطيور. (يلاحظ أنه بالإضافة إلى التأثير على تكاثر الطيور وقبل حظر استخدام DDT وجد في لبن الأمهات بمستويات سبعة أضعاف المستوى المقرر بما كان له الأثر السيئ على صحة الإنسان).

وكثيراً من المواد الأخرى بالإضافة إلى الزئبق و (DDT) يحدث لها تراكم بيولوجي وتكبير بيولوجي في النظام البيئي. وهذه تشمل النحاس، الكاديوم، الرصاص، ومعادن ثقيلة أخرى، المبيدات خلاف DDT، السيانيد، السيلينيوم، مادة (PCB'S).

٤ - الجيولوجيا والتربة : (Geology and Soils)

إلى حد كبير يتم التخلص من المخلفات الصلبة والسائلة على أو تحت سطح الأرض. العلاقة الهامة في تكنولوجيا البيئة هي التفاعل لمواد المخلفات هذه ومصادر المياه الطبيعية الموجودة. المحافظة على نوعية المياه الجوفية ذات أهمية خاصة، وهي ترتبط بأنواع وخواص التربة. نظراً لأن التربة تحتوى على أجسام صخرية غير متماسكة، فإن ذلك سوف يساعد المتلقي على تفهم هذا الموضوع من خلال الآتى:

أنواع الصخور (Types of Rock)

الصخور تتكون من مواد غير عضوية تسمى المعدنية (Minerals). بعض المواد المعدنية المألوفة مثل الكوارتز، الميكاء، الفلدسبار، الكالسيت، الماجنيتيت، والكاولين، العناصر الكيماوية الأساسية التي تتكون منها هذه المواد المعدنية تشمل السليكون، البوتاسيوم، الألومنيوم، الكالسيوم، الحديد، الأكسجين وعناصر أخرى كثيرة.

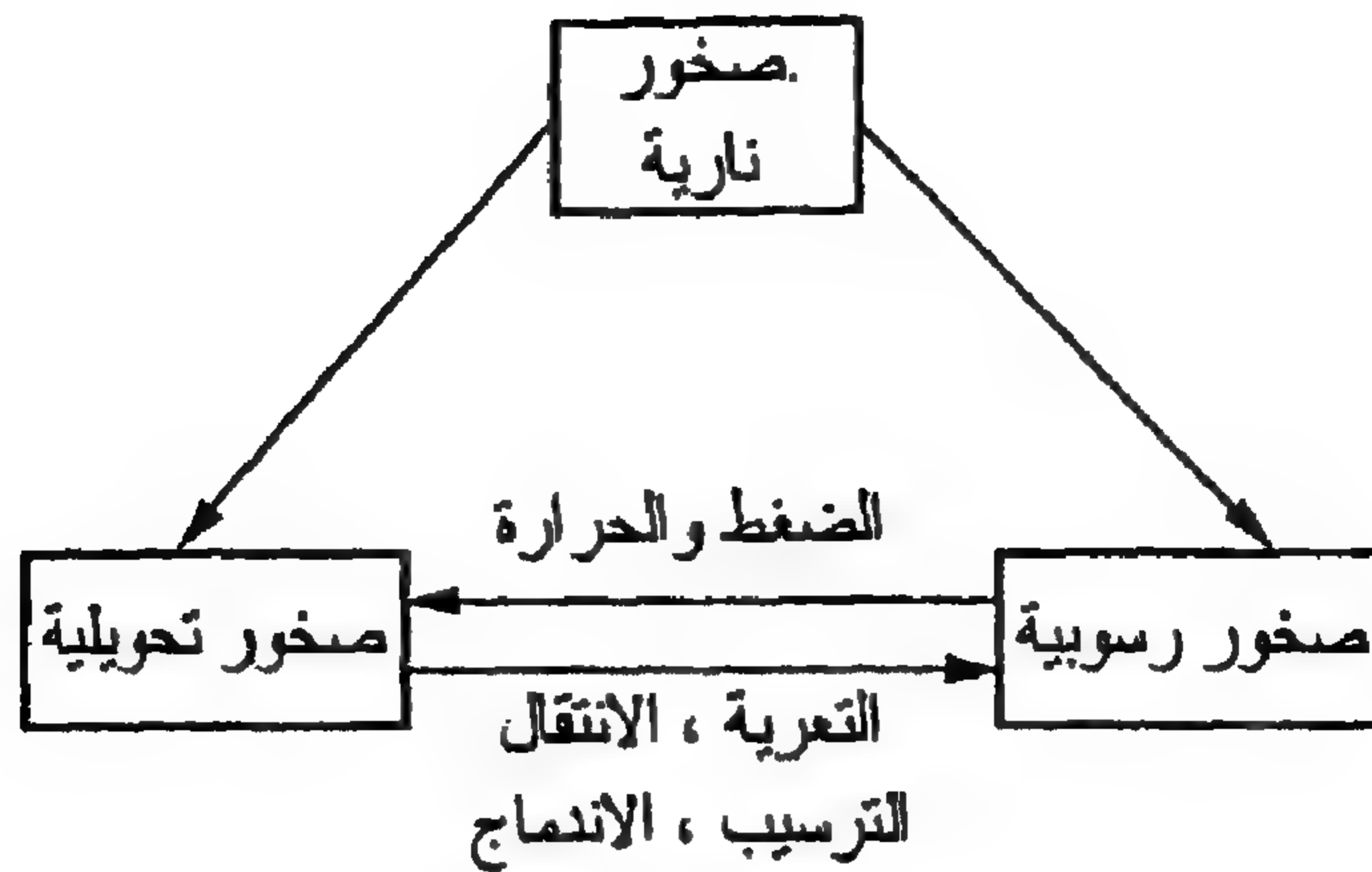
الأنواع الرئيسية الثلاثة للصخور هي الصخور النارية أو البركانية (Igneous)، الصخور الرسوبية (Sedimentary) والصخور التحويلية (Metamorphic). الصخور النارية التي تكون معظم القشرة الصلبة للكوكب، والتي بردت وتجمدت من الحالة الساخنة المنصهرة. الجرانيت، يتكون أساساً من مواد معدنية هي الكوارتز والفيلدسبار وهو النوع العادي من الصخور النارية.

حتى أن أكثر الصخور النارية صلابة وقدرة على التحمل المعرضة لسطح الأرض تكون عرضة للتفكك الطبيعي والتحلل الكيماوي. التغيرات في تكوين وبناء الصخر تحدث باستمرار بسبب تأثير الرياح، الماء، التغيرات في درجة الحرارة، ثاني أكسيد الكربون، والأكسجين. هذه العملية المتدرجة تسمى التعرية (Weathering). الصخر الصلب المكون من مواد معدنية متماسكة ينكسر إلى قطع صغيرة نسبياً وغير متماسكة والتي تسمى التربة (Soil). عند تحرك جسيمات التربة بفعل الرياح أو الماء وترسب في مكان ما، فإنها تكون رواسب (Sediments). هذه الرواسب يمكن أن تغطي أسفل رواسب مادة إضافية، حيث يتم دمجها وتماسكها تحت أحمال الطبقات العليا. ومع الوقت، كسور التربة يمكن أن تلتصق معاً، مكونة نوع آخر من الصخور يسمى الصخور الرسوبية.

الحجر الرملي، المتكون من حبيبات الرمل المتماسكة والطين الصفحي (Shale) وهو صخر من الصلصال أو الطين ويسهل انفلاقه إلى طبقات) يتكون من الطين المتماسك والملدن (الغرين أو الطمي (Silt)، الطفلة) هو من الصخور الرسوبية العادية. الحجر الجيري الذي يتكون أساساً من مادة الكالسيت (كربونات الكالسيوم CaCO_3) والذي تبلور في البيئة البحرية هو كذلك من نوع الصخور الرسوبية الموجودة بكثرة.

تحت ظروف زيادة الضغط ودرجة الحرارة بفعل الظروف البيئية، فإن كلا من أنواع الصخور النارية والرسوبية يمكن أن تتحول من شكلها الأصلي والبناء المعدني. والصخر الجديد المتكون يسمى الصخر التحويلي (Metamorphic). الرخام والأردواز هم من الأمثلة المألوفة لهذا النوع الأساسي الثالث من الصخر. الرخام يتكون في شكل كربونات الكالسيوم المتبلرة والمسمى كالسيت (calcite) حيث يحدث التبلر بفعل الحرارة والضغط. الأردواز (Slate) هو مكافئ تحويلي للطين الصلصالي (Shale).

كلا من الصخور الرسوبية والتحويلية يمكن أن تتعرض ثانياً لتحويلات مناخية وتستمر عملية الترسيب في دورة تكون الصخر. كما هو موضح في الشكل (١/١٠).



شكل (١/١٠) مخطط لدورة الصخر

الخواص الطبيعية للصخر ذات الأهمية الخاصة في تكنولوجيا البيئة تشمل تلك المتعلقة لتخزين وتدفق المياه تحت الأرض. المصطلحات الهامة في هذا المجال هي المسامية (Porosity)، النفاذية (Permeability). الصخر ليس تام الصلابة. المسامية تشير إلى النسبة المئوية للحجم الكلي للصخر الذي تشغله المسام والفراغات. النفاذية تشير إلى خواص الصخرة التي تمكن الماء من السريان خلال الفراغات والمسام. وهذا يسمى نسيج النفاذية (Matrix Permeability). لاحظ أن الصخور المسامية ليست بالضرورة عالية النفاذية، وخاصة إذا كانت الفراغات صغيرة جداً وليست متصلة فيما بينها.

الصخور الرسوبية عادة تكون مسامية وذات نفاذية نسبياً، بينما معظم الصخور النارية والتحولية ليست ذات نفاذية. صخور الكربونات الرسوبية مثل الحجر الجيري، هي مذبذبة نسبياً. في هذا النوع من الصخور قد تتكون جيوب المحلول مع التدفق البطيء للماء خلال الفراغات وإذابة الحجر الجيري. جيوب المحلول تزيد من نفاذية الصخر.

التكوينات الصخرية لها صفات معالم بنائية التي يمكن كذلك أن تؤثر على النفاذية. فمثلاً، الظاهرة التي تسمى الطباقية أو المؤلف من طبقات (Layering Or Stratification)، عادة تكون موجودة في الصخور الرسوبية. يحدث هذا لأن حبيبات التربة الغير متماسكة ترسب كرواسب بواسطة الماء أو الرياح في طبقات أفقية، هذه الطبقات يمكن أن تختلف في حجم الحبيبات أو في المكونات المعدنية. وبالتالي تكون النفاذية عموماً أعلا في الاتجاه الموازي للطبقات في الصخور الرسوبية.

الكتل الصخرية يمكن أن تتحنى أو تلتوى بالتدريج بسبب التغيرات المناخية وتحركات الأرض. عند تشقق وتفتت الصخر بفعل الإجهادات الزائدة، فإنه تتكون شقوق وانفلاقات وهذه تسمى تصدعات (Joints). والتصدعات حيث يتحرك جانب واحد من الكتلة الصخرية أو أن يزاح نسبياً إلى الجانب الآخر، كما يحدث أثناء الزلازل ويسمى الفوالق (Faults). فى حالة عدم التصاقها أو الاقتراب المحكم فإن كلا من التصدعات والفوالق تعمل كممر مناسب لتدفق الماء ويضيف نفاذية الشقوق إلى كتلة الصخر. فى الصخور المذابة مثل الحجر الجيري، يمكن للتصدعات أن تتضخم بفعل المحلول لتكوين الكهوف.

أنواع التربة : (Types of Soil)

التربة، شظايا وكسور الصخر الغير متماسكة التى تكونت من عوامل التعرية، يمكن تقسيمها على أساس الصفة المميزة (Texture) أو الحجم والشكل لحبيبات التربة. وتوجد أربع تقسيمات رئيسية لصفات التربة.

- ١- الزلط : وهى الكسور أو الشظايا الصخرية ذات قطر ما بين ٤,٧٥ إلى ٧٥ ملليمتر.
- ٢- الرمل : حبيبات التربة أكبر من ٠,٠٧٥ ملليمتر وأقل من ٤,٧٤ ملليمتر فى القطر.
- ٣- الغرين أو الطمي (Silt) : حبيبات دقيقة مثل المسحوق بقطر أكبر من ٠,٠٠٢ ملليمتر واصغر من ٠,٠٧٥ ملليمتر.

- ٤- الطفلة : (Clay) : حبيبات صغيرة جداً أقل فى القطر من ٠,٠٠٢ ملليمتر.

المصطلح لوم (Loam) يستخدم كذلك للتربة المتكونة من الغرين أو الطمي والرمل وكذلك يحتوى على بعض المواد العضوية والمناسبة لنمو النباتات والمحاصيل. الطفلة تختلف عن الزلط، الرمل، الطمي. ليس فقط فى الحجم والقطر ولكن كذلك فى الشكل والمكونات المعدنية. الزلط، الرمل، الطمي يتكون من أجسام حبيبية كبيرة نسبياً، الأجسام الطفلية صغيرة جداً وذات الشكل الصفائحي وذات شراة قوية للماء.

نفاذية التربة تقل مع صغر حجم الحبيبات. الزلط والرمل لهما حبيبات تربة مسامية ولهما نفاذية عالية، تسمح سريعاً بتدفق المياه خلال الفراغات بين حبيبات التربة. يعتبر الغرين أقل نفاذية بسبب صغر حجم الحبيبات وحجم الفراغات. والطفلة رغم أنها مسادة مسامية إلا أنها عديمة النفاذية بالنسبة لتدفق المياه. هذا أساساً لأن الماء فى الطفلة يرتبط بالقوى الجزيئية على حبيبات الطفلة التى هى فى شكل شرائح. عدم النفاذية لتربة الطفلة

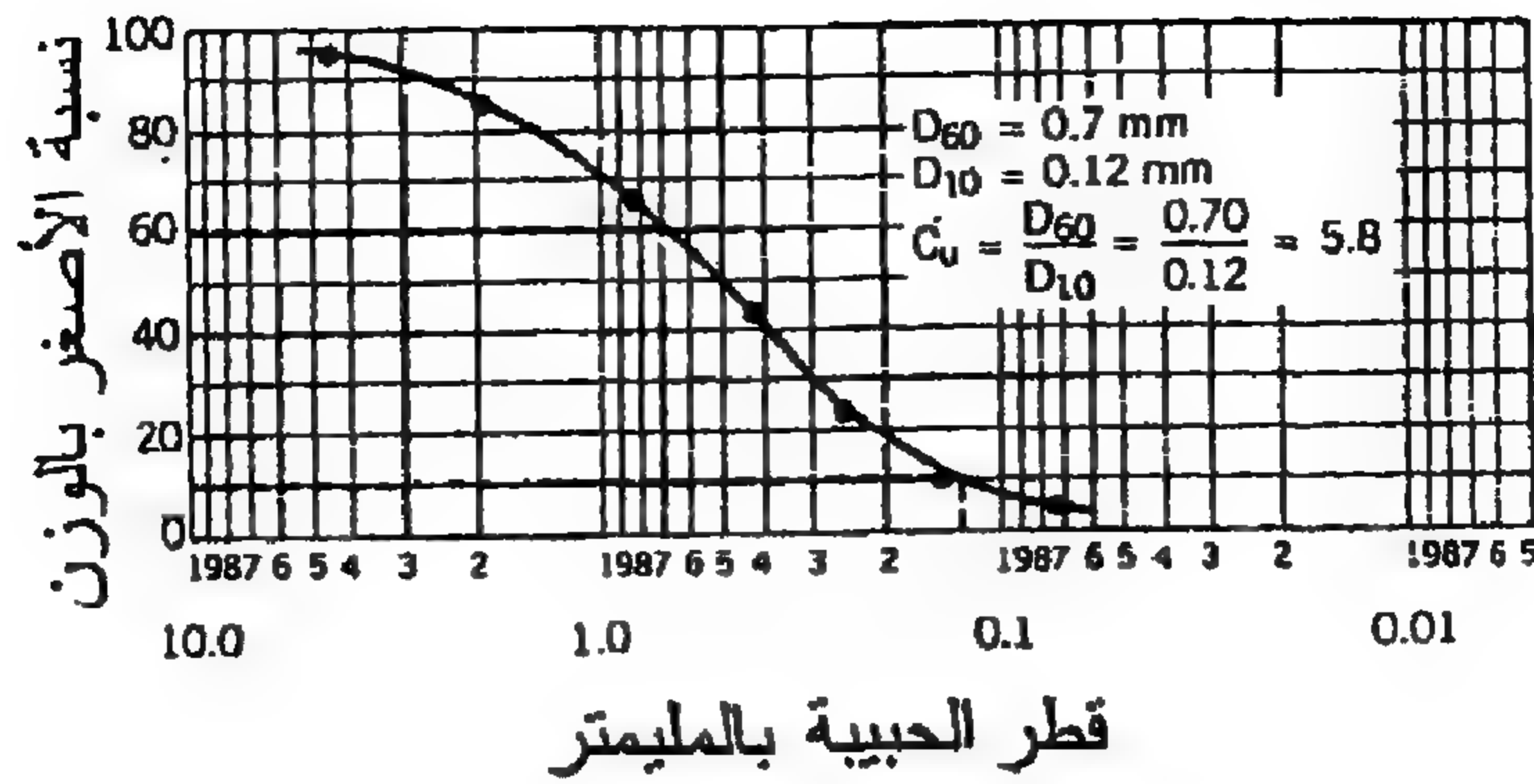
يمكن استخدامها للاستفادة بها في بناء أماكن الردم الصحي للتخلص من المخلفات الصلبة، ولكن سلبياتها الكبيرة في حالة التخلص تحت سطح التربة لمياه الصرف. والتي سيتم مناقشتها في الفصول التالية. بالإضافة إلى المسامية والنفاذية فإن هناك مصطلحات أخرى متعلقة بتدفق المياه في التربة وتشمل الترشيح للتربة (Infiltration) والتسرب إلى أسفل (Percolation). وترشيح التربة يعني اختراق الماء خلال طبقات سطح الأرض من التربة أو الصخر. أما التسرب إلى أسفل فيعني به استمرار حركة تدفق المياه خلال الفراغات المسامية تحت تأثير قوى الجاذبية.

عموماً التربة المدمجة، التي تحتوي على نسبة عالية من الطمي والطفلة لها معدلات منخفضة للترشيح والتسرب إلى أسفل. ولكن التربة ذات الشكل الخشن والتي تحتوي في معظمها على الرمل والزلط يكون لها معدلات عالية من الترشيح والتسرب إلى أسفل. التربة المدمجة غير مناسبة للصرف تحت السطحي لمياه الصرف (في الموقع). اختيار التسرب السفلي بفعل الجاذبية عند تصميم نظام التحليل في الموقع تمت مناقشته في الجزء الثاني.

تدرج التربة : (Soil Graduation)

رغم أن التربة يمكن تقسيمها طبقاً لحجم الحبيبات مثل الزلط، الرمل، الغرين، (الطمي)، الطفلة، فإن التربة الطبيعية الموجودة لا توجد عادة في هذا التقسيم المحدد. تلك الأنواع من التربة عادة تكون مخلوطة، محتوية على العديد من المقاسات المختلفة لحبيبات التربة. التوزيع والنسب المئوية لمختلف حجم الحبيبات للتربة يسمى تدرج التربة.

يمكن بسهولة تعيين تدرج التربة ميكانيكياً وذلك بفصل حبيبات التربة المختلفة في مناخل أو مصافي ذات أبعاد مختلفة لقطر الفتحات (Mesh openings). نتيجة التحليل الميكانيكي يعبر عنه عادة في شكل مخطط يمثله منحنى التدرج. نموذج المنحنى موضح في الشكل (١/١)، حيث المحور الرأسى يبين النسبة المئوية لحبيبات التربة التي هي أقل من الحجم النوعى للحبيبة. هذا المنحنى يبين أن ٦٠% من التربة هو أقل من ٠,٧ ملليمتر في القطر، ١٠% من التربة أقل من ٠,١٢ ملليمتر.



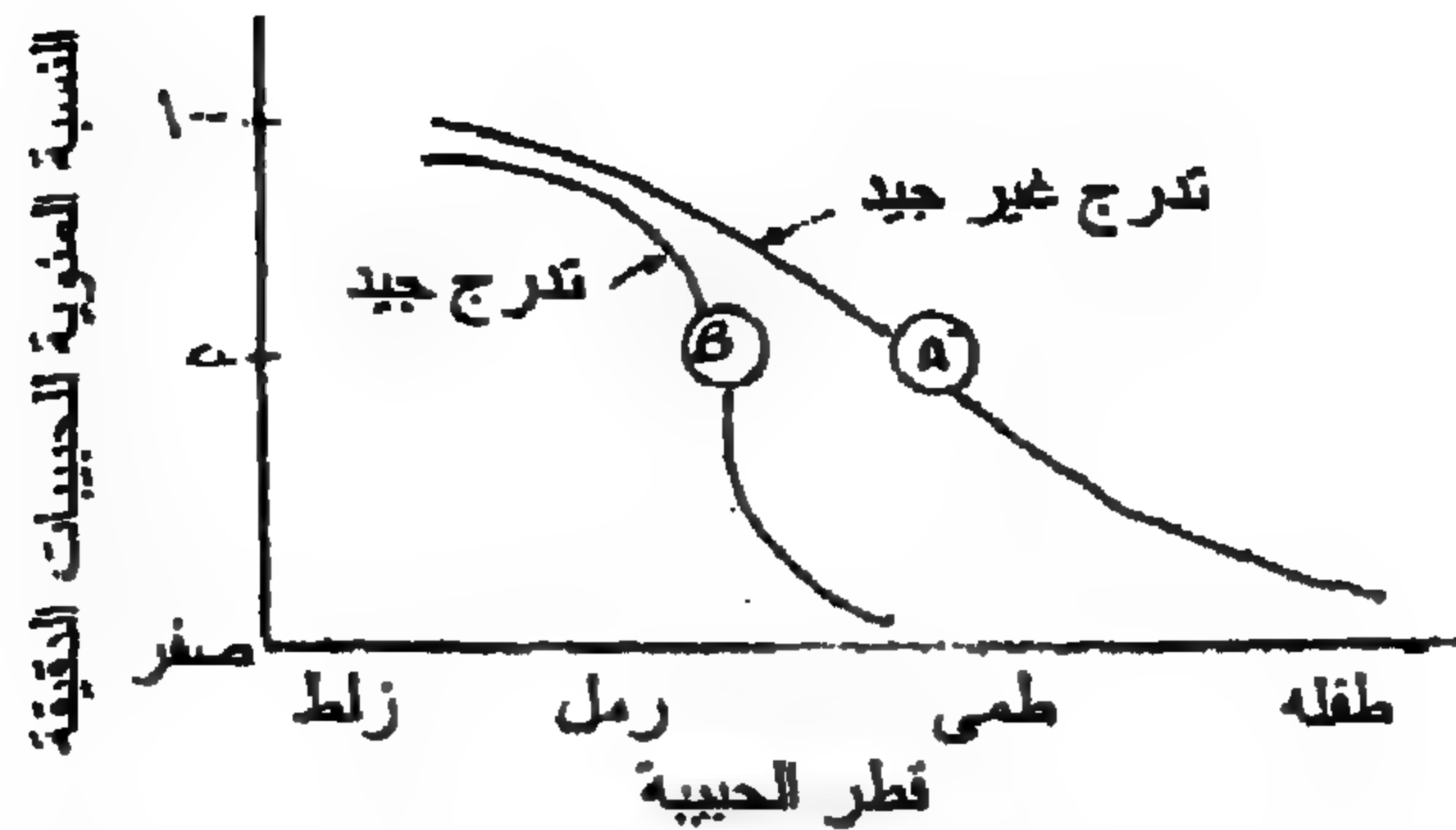
شكل (١/١١) مخطط التدرج للتربة.

معامل التجانس (Cu) يمكن استخدامه لتصنيف التربة

حجم (قطر) الحبيبة للتربة حيث ١٠% أصغر يسمى الحجم (القطر) المؤثر (Effective Size) للتربة ذلك لأنه توجد علاقة وترابط بين القطر (الحجم) ونفاذية التربة. القطر المؤثر يرمز له بالرمز (D_{10}) يستخدم كعامل عند توصيف الرمل للمرشحات المستخدمة في نظم معالجة المياه أو مياه الصرف. معامل تدرج آخر يسمى معامل التجانس (Uniformity Coefficient) يستخدم كذلك في هذا المجال. معامل التجانس هو النسبة لحجمين من الحبيبات، وهما حيث ٦٠% الأصغر (حيث رقم فتحة المنخل بالمليمتر التي تمر ٦٠% من العينة وتحجز ٤٠% من العينة) والقطر المؤثر أو ($D_{10} \div D_{60}$). منحنى التدرج للتربة الموضح في الشكل (١/١١) له قطر مؤثر ٠,١٢ مليمتر ومعامل تجانس ٠,٧ مليمتر \div ١٢ مليمتر = ٥,٨.

والتربة المختلطة يمكن وصفها بأنها ذات تدرج جيد أو ذات تدرج ضعيف، وذلك طبقاً لتوزيع أحجام الحبيبات. التدرج الجيد موضح المنحنى (A) في الشكل (١/١٢). يوجد تغير كبير في حجم الحبيبات في هذا النوع من التربة، الحبيبات الأصغر تتطابق مع وتملاً معظم الفراغات بين الحبيبات الأكبر. نتيجة لذلك، فإن التربة ذات التدرج الجيد تميل إلى أن يكون لها مسامية ونفاذية ضعيفة نسبياً. وهي كذلك مقاومة للبرى والفرك والصقل والتنظيف. منحنى التدرج (B) هو نموذج للتربة ذات التدرج الضعيف، والتي تتكون أساساً من حبيبات التربة في مجال ضيق جداً من الأحجام. وفي التربة من هذا النوع، تكون كلا من النفاذية والمسامية مرتفعة نسبياً ذلك لأنه لا توجد أحجام صغيرة

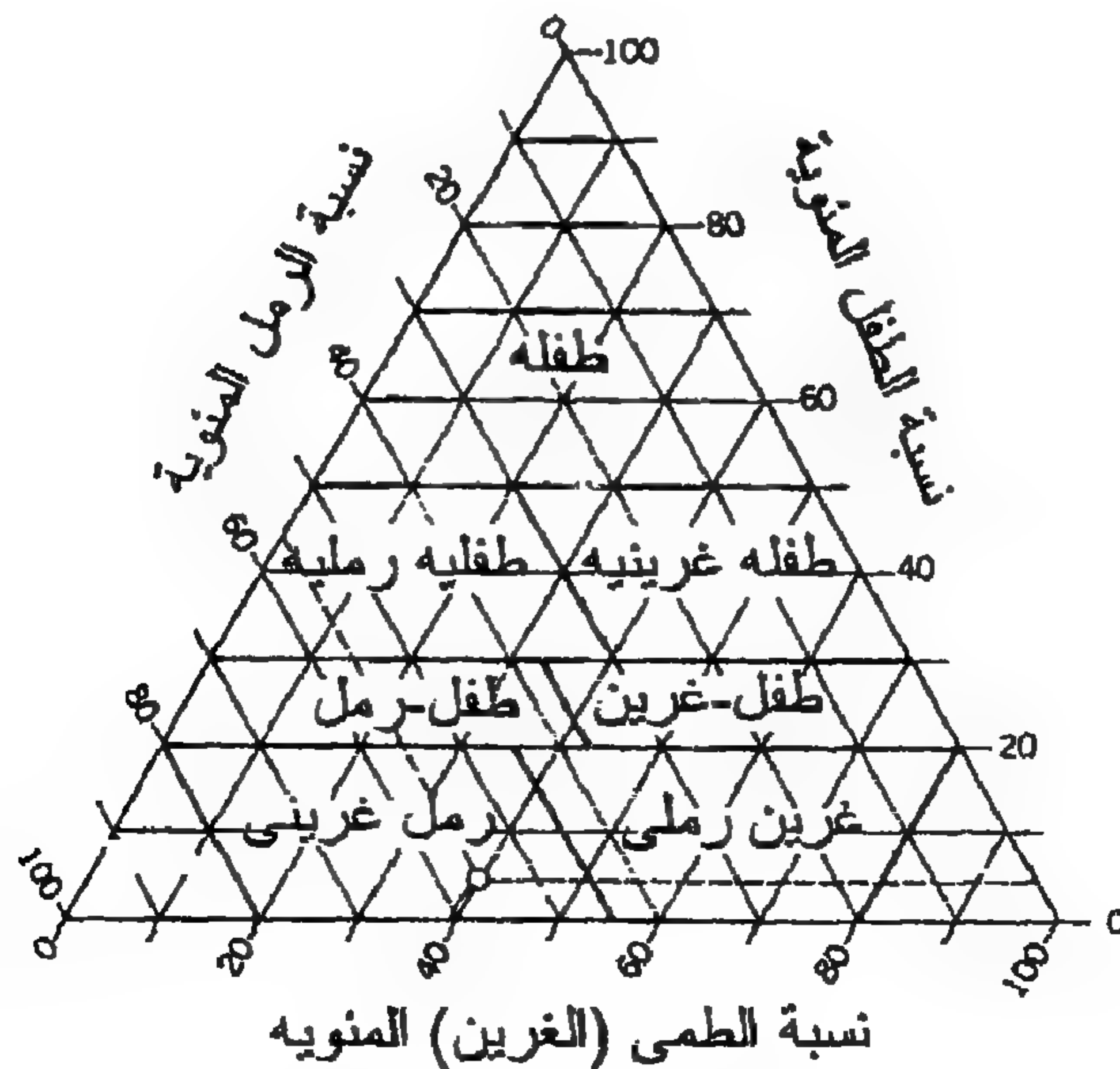
كافية لتملأ الفراغات والمسام بين الحبيبات الأكبر. التربة ذات التدرج الضعيف تكون عموماً لها معامل تجانس أقل من ١٠%.



شكل (١/١٢) التربة ذات التدرج الجيد (A)

لها نفاذية ومسامية أقل من التربة ذات التدرج الضعيف (B)

التربة المختلطة تقسم عادة أو تصنف بالشكل الذي يساعد في تقدير سلوكها وخواصها. تستخدم نظم عديدة للتقسيم في تكنولوجيا ميكانيكا التربة، ومعظمها مبني على تحليل المنخل وبعض الاختبارات المعملية الأخرى. أحد أبسط الطرق لتقسيم التربة هو باستخدام مخطط التقسيم المثلثي كما هو موضح في الشكل (١/١٣).



شكل (١/١٣) المخطط المثلثي لتصنيف التربة

مخطط التقسيم المثلثي يعتمد فقط على الكميات النسبية من الرمل، والطين والطفلة في التربة. فمثلاً، التربة التي تحتوى على ٢٥% من الطفلة يمكن وصفها بأنها طفلية - طينية على المخطط. عموماً عندما تزيد نسبة الطفلة عن ٢٠% من إجمالى عينة التربة، فإن الطفلة هي التي تهيمن على خواص التربة وسلوكها، وأن التصنيف الأولى أو التعرف على التربة سيكون هو الطفلة. مخطط التقسيم الأكثر استخداماً مقارنة بالمخطط المثلثي يسمى النظام المتحد (Unified system) يستخدم بيانات إضافية من الاختبارات المعملية لتقسيم التربة.

الخرائط المساحية لفحص ودراسة التربة : (Soil Survey Maps)

مجموعة التربة ذات الصلة ببعضها والتي تم تسميتها من مكونات صخرية متشابهة تسمى التربة المتسلسلة أو المتتالية (Soil Series). والتربة خلال تسرب معين تكون أساساً متشابهة في جميع الخواص الأساسية. وهي تصنف على أساس تقسيمها البنائي (Textural) واسم المكان الجغرافي الذي يمثل تحديداً نوع التربة. وقد قام جهاز خدمة المحافظة على الموارد الطبيعية التابع لوزارة الزراعة الأمريكية بالدراسة المساحية للمساحات المحلية وإعداد الخرائط المساحية لدراسة التربة.

والخرائط المساحية للتربة هي خرائط تراكمية للصور الجوية للمساحة بالإضافة إلى توزيع تسلسل التربة، فإنها تظهر الطرق، والمجاري السطحية والظواهر الطبيعية الأخرى، وهي مفيدة تحديداً للمساعدة في حسن تخطيط واستخدام وتنمية الأراضي. توجد مجموعات من الحروف ترمز إلى تسلسل التربة.

ميل الأرض له أهمية خاصة في التخطيط البيئي وتنمية الأراضي. الميول التي يعبر عنها بنسبة مئوية تمثل التغير في ارتفاع الأرض كل ١٠٠ متر أو ١٠٠ قدم من المسافة الأفقية. فمثلاً، مرتفع يميل ٢٠% يتغير ٢٠ متر في الارتفاع عند مسافة ١٠٠ متر.

الميول أقل من ٥% عادة تعتبر ميول لطيفة، بينما تلك الميول أكبر من ١٥% تعتبر ميول حادة. الميول الحادة تعتبر أكثر عرضة وحساسية للمعدلات العالية من تدفقات السيول وبرى التربة مقارنة بالميول اللطيفة. على الجانب الآخر، المساحات ذات الطبوغرافية المستوية جداً (حيث الميل من صفر إلى ٢%) يمكن أن تقاسى من ضعف الصرف لمياه السيول والأمطار ومشاكل الفيضانات. النظم الحديثة للاستخدام العمرانى للأراضي قد تحدد حدود بناء المنازل والإنشاءات الأخرى المسموح بها على الميول الحادة، مع إعداد التصميم الهيدروليكي لنظام صرف مياه السيول والأمطار لأهميته

بالنسبة للمساحات المستوية جداً. التقارير لوصف نظم خدمة المحافظة على الموارد الطبيعية للدراسة المساحية للتربة تحتوي على معلومات جيدة بالنسبة لخواص التربة وسلوكها. تتوفر بيانات عن العمق حتى الطبقة الصخرية وكذلك البيانات للعمق حتى خط المياه الجوفية. الطبقة الصخرية هي التكوينات الصخرية التي لم تتعرض لعوامل التعرية وتقع تحت سطح التربة. خط المياه يمثل العمق الذي عنده تكون التربة مشبعة بالماء، كما سيتم مناقشته في الفصل (٣). العمق حتى الطبقة الصخرية وخط المياه الجوفية يعتبر هام بالنسبة لتصميم منشآت التخلص من المخلفات الصلبة أو السائلة. بيانات أخرى تظهر في بيان خدمة حماية الموارد الطبيعية تشمل مؤشر خواص التربة، التدرج، النفاذية، احتمالات بربى التربة، وملاءمة الأرض لمختلف أنواع التنمية. فمثلاً بيانات الخريطة التي تحدد الارتفاع الموسمي لخط المياه الجوفية، تحدد بشدة استخدام الأرض في الردم الصحي أو خزانات التحليل حيث يتم امتصاص التربة للسوائل.

تاريخ الإدراك البيئي : An Era of Environmental Awareness

في عام ١٩٦٠ حدث إدراك شديد لمشاكل التلوث البيئي بين المجتمعات السكانية. حيث تأكد كثير من البشر بقيمة وأهمية المحافظة وحماية نوعية البيئة. فقد كان الهواء النظيف والماء النظيف الذي حاز الاهتمام هو الدافع إلى عقد مؤتمرات عامة لهذا الغرض. كان المطلب هو مجارى مائية وبحيرات يمكن استخدامها في السباحة وصيد الأسماك وكذلك لمصادر إمدادات مياه الشرب.

لقد أصبحت كلمات النظام الإحيائي (Ecosystem) والمجال الحيوي (Biosphere) من الكلمات المنتشرة بين الناس، وكذلك أصبحت المقالات في الصحف عن مشاكل التلوث المحلي من الأمور العادية. كما تم تركيز البرامج التعليمية عن شئون البيئة لتلاميذ المدارس حتى مستوى الجامعة كما أنها نمت في أوساط المجتمع وأصبحت مدركة لدى العامة.

فبالإضافة إلى منع تلوث الهواء والماء، فإنه من المنظور البيئي الحديث أصبح من المهم حل المشاكل المتعلقة بالتخلص من المخلفات، الإشعاعات، الصوت، المبيدات، وحماية الكائنات البرية. رغم أن الأمراض المعدية مثل الكوليرا والتيفود قد اختفت، إلا أنه بدأ الحذر من أنواع أخرى من المشاكل التي يسببها الإنسان. وتعرض المجال البيئي للمواد الكيماوية الصناعية السامة.

ولقد لجأت الحكومات إلى إصدار القوانين والقرارات المنظمة للمحافظة على البيئة بهدف المحافظة على صحة الإنسان وسعادته.

الفصل الثانى

تلوث الماء (Water Pollution)

الماء له الاستعداد القوى لإذابة المواد الأخرى حيث يشار إليه أحياناً بأنه المذيب العالمى. والماء النقى أى (H_2O) غير موجود فى المجارى السطحية والبحيرات والمياه الجوفية أو البحار والمحيطات فى الظروف العادية. فالماء دائماً يكون به شئ ما مذاباً أو عالقاً به. لهذا فإنه لا يوجد خط واضح بين الماء الملوث والماء النظيف.

إذا كان الماء النظيف غير موجود خارج المعمل الكيماوى، كيف يمكن عمل التفرقة بين الماء الملوث والغير ملوث؟ فى الحقيقة هذه التفرقة تعتمد على نوع وتركيز الملوثات وكذلك على الاستخدام المستقبلى للمياه. بالإضافة إلى أن تركيزات المواد المذابة أو العالقة يمكن مقارنتها بالمعايير القياسية للمياه لاستخدام معين.

عموماً، يمكن اعتبار الماء أنه ملوث عندما يحتوى على مواد غريبة كافية لتجعله غير مناسب لاستخدام معين، مثل الشرب، الاستحمام، تنمية الاسماك. حقيقة تعبير التلوث عادة يرجع إلى أن الأنشطة الإنسانية هى سبب ضعف نوعية المياه.

وسيتم تناول أنواع ومصادر ملوثات المياه العادية وتأثيرها على المجارى المائية، البحيرات، الأنهار، المياه الجوفية، ومياه البحار والمحيطات.

١ - تقسيم ملوثات المياه :

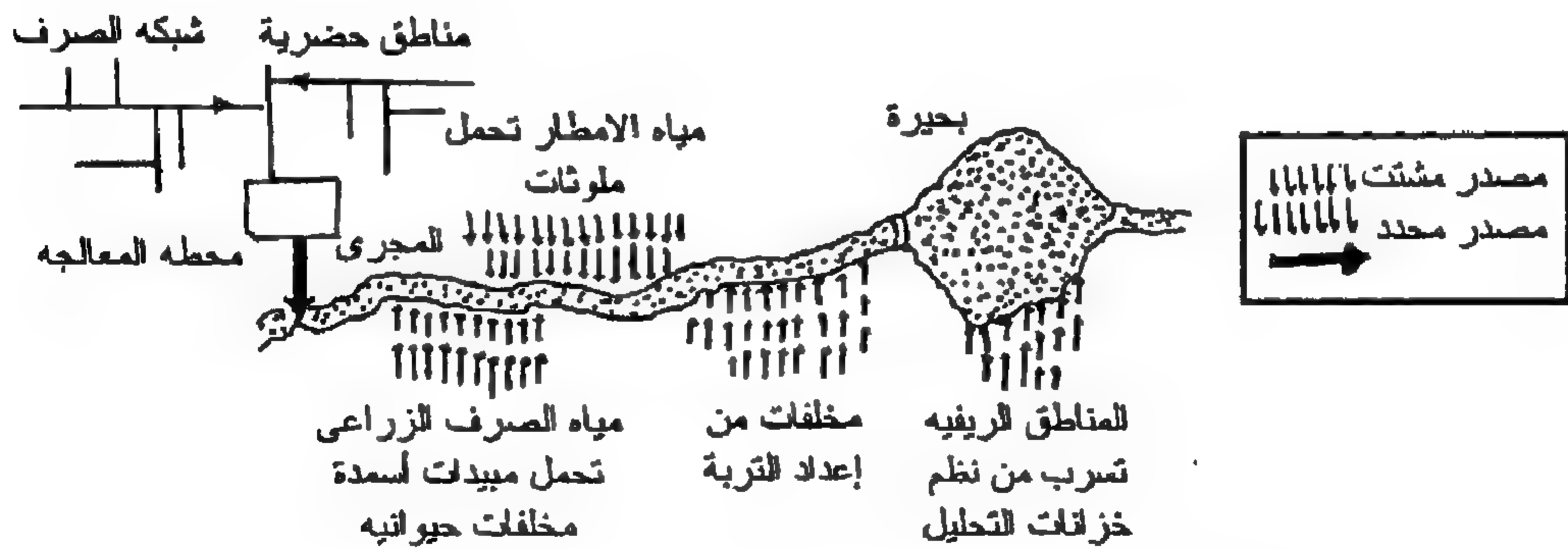
لتفهم تأثيرات تلوث المياه والتكنولوجيا المطبقة فى الحد من التلوث، يكون من المفيد تقسيم الملوثات إلى عدد من المجموعات أو الأصناف. أولاً، يمكن تقسيم الملوث طبقاً لاسم مصدره إما من مصدر محدد أو أن يكون من مصادر غير محددة ومنتشرة. الملوث من مصدر محدد هو ذلك الذى يصل إلى الماء من ماسورة، قناة، أو أى مصدر آخر محدود ومحلى. المثال العادى للمصدر المحدد للملوثات هو ماسورة الصرف لمخلفات المجارى فى المسطحات المائية أو الأنهار، وإن كان معظم مياه المجارى يكون قد تم معالجتها فى محطات معالجة الصرف الصحى إلا أنها لازالت تحتوى على الملوثات إلى حد ما.

المصدر المنتشر والغير منتشر هو مساحة واسعة غير محددة حيث تدخل منها الملوثات فى كتلة الماء. الصرف السطحى من المساحات الزراعية والذى يحمل مواد التربة، الأسمدة، المبيدات والمخلفات الحيوانية نحو المجارى المائية السطحية وليس عند

نقطة معينة يعتبر مثالا للمصدر المنتشر. تلك المواد يمكن أن تدخل المياه على طول المجرى المائي مع تدفقها خلال المنطقة. الأمطار الحامضية من مناطق إستخراج الخامات المعدنية هي ملوثات منتشرة. نظم صرف مياه الأمطار في المدن تعتبر كذلك كمصادر مشتتة لكثير من الملوثات، ذلك رغم أن الملوثات يتم حملها عادة نحو المجارى المائية أو البحيرات في مواسير صرف أو شبكة صرف مياه الأمطار، إلا أن كثيرا من هذا الصرف ينتشر على مساحة كبيرة.

الفرق بين المصادر المحددة والمصادر المشتتة للملوثات موضح في الشكل (٢/١). مصدر الملوثات المحدد يكون من السهل التعامل معه أكثر من المصدر المشتت للملوثات. الملوثات من المصدر المحدد هي التي تم جمعها ونقلها إلى مكان معين حيث يمكن إزالتها من المياه في محطة المعالجة، وحيث يمكن صرفها من محطات المعالجة طبقا للمعايير المقررة على الصرف على المسطحات المائية.

الملوثات من المصادر المنتشرة والمشتتة التحكم فيها أكثر صعوبة. رغم أن مياه الصرف تعتبر المصدر الكبير لمشاكل تلوث المياه، ولكن المصادر المشتتة تسبب قدرا كبيرا من تلوث المياه. والطريقة الفعالة للتحكم في المصادر المشتتة هي بإقامة العوائق المناسبة على الأرض.



شكل (٢/١) ملوثات المصادر المشتتة المختلفة التي يصعب التحكم فيها

مقارنة بملوثات المصدر المحدد حيث يمكن إزالتها من الماء.

بالإضافة إلى التقسيم طبقا للمصدر، فإنه يمكن تقسيم ملوثات المياه إلى مجموعات من المواد أساسا طبقا لتأثيراتها الصحية والبيئية.

فمثلا، البيان الآتي يوضح تسعة أنواع محددة من الملوثات:

١- الكائنات الحية الدقيقة الممرضة.

٢- المواد التي تحتاج وتستهلك الأكسجين.

٣- المواد الغذائية للنبات.

٤- المواد العضوية السامة.

٥- الكيماويات الغير عضوية.

٦- الرواسب.

٧- المواد المشعة.

٨- الحرارة.

٩- الزيوت.

الصرف الصحي المنزلى هو المصدر الرئيسى للأنواع الثلاثة الأولى من الملوثات . الكائنات الممرضة (Pathogens)، أو الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض، يتم إفرازها في غائط الأشخاص حاملى العدوى والتي يمكن أن تنقل إلى الماء الذى يستقبل صرف مياه الصرف الصحى. مخلفات الصرف الصحى من التجمعات السكانية الكثيفة يوجد احتمال كبير نحو احتوائها على كائنات ممرضة من نوع ما.

والصرف الصحى كذلك يحمل المواد ذات الحاجة إلى الأكسجين أى التى تستهلك الأكسجين - المخلفات العضوية التى تسبب الأكسجين البيولوجى المطلوب (BOD) عند تحليلها بواسطة الكائنات الصغيرة. هذا الأكسجين الحيوى المطلوب هو الذى يغير الاتزان البيئى فى المياه وذلك بخفض المحتوى من الأكسجين المذاب. النيتروجين والفوسفور، هى من أهم مواد الغذاء للنبات فى مياه الصرف وكذلك فى الصرف من الحقول، إلا أن هذه المواد وإن كانت غذاء للكائنات النباتية فى المجارى المائية إلا أنها سامة للكائنات الحيوانية المائية (الأسماك). المعالجة التقليدية للصرف الصحى تقلل من كمية الكائنات الممرضة وكذلك الأكسجين الحيوى المطلوب فى مياه الصرف ولكن لا يتم التخلص نهائياً منهم. فيروسات معينة بالتحديد، يمكن أن تكون ذات مقاومة لعمليات تطهير مياه الصرف. (الفيروس هو كائن حى دقيق حامل للمرض يمكن رؤيته فقط بالمجهر الإلكتروني).

لخفض كميات النيتروجين والفوسفور من مياه الصرف، عادة يتم استخدام بعض أنواع المعالجات الخاصة لمياه الصرف والتي تسمى بالمعالجة الثلاثية.

الكيمائيات العضوية السامة، يمكن كذلك أن تذهب مباشرة إلى الماء من الأنشطة الصناعية، إما لعدم التداول الصحيح للكيمائيات في المصنع، أو كما هو ملاحظ من الصرف للمخلفات الصناعية قبل معالجتها. إدارة عمليات التخلص من الكيمائيات السامة والمخلفات الخطرة الأخرى له تأثير هام على البيئة، وخاصة بالنسبة لحماية نوعية المياه الجوفية. الكيمائيات الغير عضوية السامة وخاصة تلك التي من المعادن الثقيلة مثل الرصاص، الزئبق، والكروم يكون مصدرها الأنشطة الصناعية وتعتبر مخلفات خطيرة.

الزيوت يمكن أحيانا غسلها نحو المياه السطحية في مياه غسل الشوارع وانتظار السيارات. والمياه الجوفية يمكن أن تتلوث كذلك بفعل التسرب من الخزانات تحت سطح الأرض. كما يحدث أحيانا الانسكاب للزيوت الغير متعمد من ناقلات الزيت الضخمة في مياه البحر بما يسبب خطر بيئي كبير. الصرف العشوائي لآبار الزيت في مياه البحر يمكن أن يطلق مئات الأطنان من الزيت في وقت قصير. إنسكابات الزيت في البحر قد تتحرك نحو الشاطئ بما يؤثر على الكائنات الحية ويفسد مناطق الاستجمام.

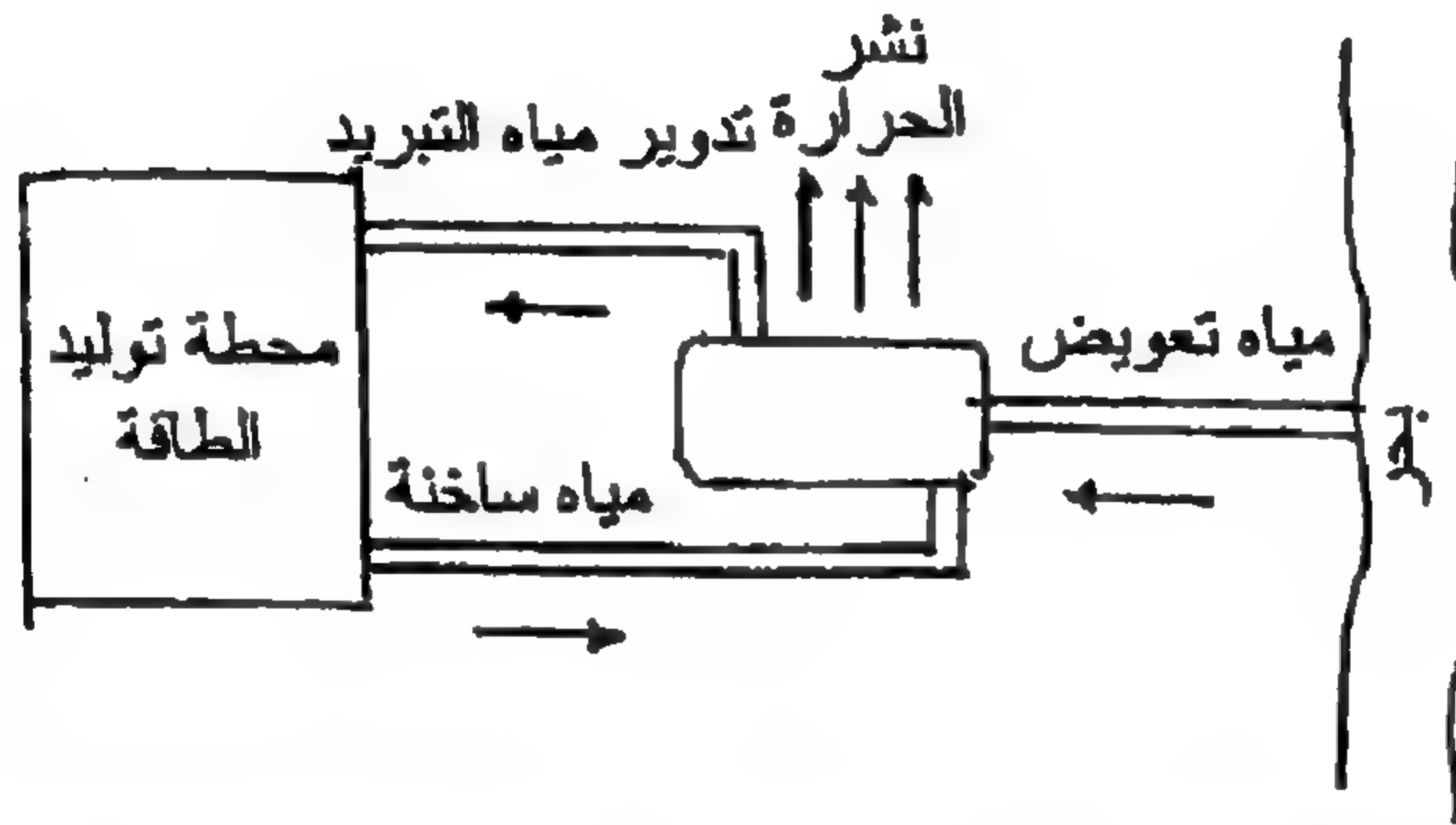
٢- التلوث الحراري : (Thermal Pollution)

تعتبر الحرارة من ملوثات الماء نظراً للتأثير السيئ الذي تحدثه على مستوى تركيز الأكسجين والكائنات المائية في الأنهار والبحيرات. عموماً، الكمية الكلية للمياه التي يتم سحبها لأغراض التبريد في محطات الطاقة تزيد عن كمية المياه المستخدمة في أي غرض آخر. مياه التبريد تحمل الحرارة عند مرورها خلال المكثفات في محطة الطاقة (بتحول البخار إلى الماء في المكثفات). درجة حرارة الماء المستخدم في التبريد يمكن أن تزداد بحوالي ١٥°م بعد قيامها بتكثيف البخار.

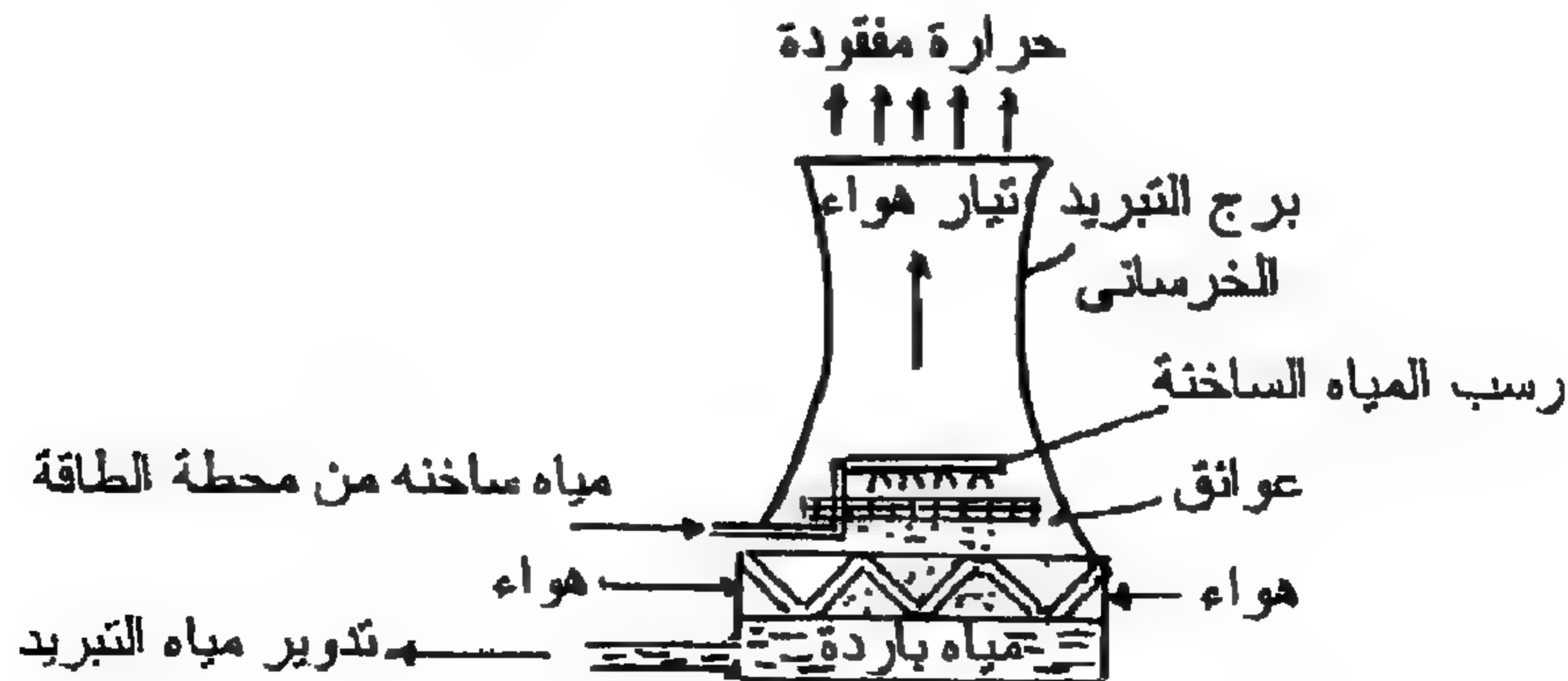
صرف المياه الساخنة في النهر عادة يسمى تلوث حراري. ارتفاع درجة الحرارة يقلل من إذابة الأكسجين ويزيد من معدل الأيض (وبناء بروتوبلازم الخلايا) (Metabolism) للأسماك. وهذا يسبب التغير في الاتزان الأحيائي بين الكائنات الحية وبيئتها (Ecology) في النهر. بعض الأسماك مثل سمك السلمون لا يستطيع العيش عند درجة حرارة أعلا من ٢٥°م. الأسماك الكبيرة مثل الشبوط والسمك النهري ذو الرأس الطويل المستدق (Pike) يمكن أن تكون حياتها المعيشية أفضل عند درجة حرارة دافئة حتى ٣٥°م.

نظرا لأن أصناف مختلفة من الأسماك الكبيرة تفضل المياه الدافئة، فإن بعض ممثلى صناع الطاقة يستخدموا تعبير الوفرة الحرارية (Thermal Enrichment) بدلاً من التلوث الحرارى للإشارة إلى ما يسببه الدفء فى النهر. رغم حقيقة أن كثيرا من الأسماك قد تحتشد قرب ماسورة الصرف لمياه التبريد من محطة الطاقة، إلا أنه تظهر مشكلة عند التوقف المفاجئ للمحطة بسبب الإصلاح. الانخفاض المفاجئ فى درجة حرارة الماء يسبب القتل للأسماك بنسب كبيرة، حيث آلاف الأسماك الميتة تطفو على سطح النهر أو يتم كسحها نحو الشاطئ.

ويمكن التحكم فى التلوث الحرارى وذلك بتمرير المياه الساخنة خلال برج تبريد أو بركة تبريد بعد خروجها من المكثف. الحرارة يتم نشرها فى الهواء والماء عندئذ يمكن إما صرفه فى النهر أو إعادته بالضخ إلى المحطة لإعادة استخدامه كمياه تبريد. وهذا موضح فى الشكل (٢/٢) لا يوجد صرف للمياه الساخنة فى النهر، ولكن يتم سحب بعض المياه لتعويض الفقد بالبخر.



شكل (٢/٢) التلوث الحرارى من محطة توليد الطاقة يمكن التخلص منه باستخدام التدوير لبرك التبريد أو أبراج التبريد

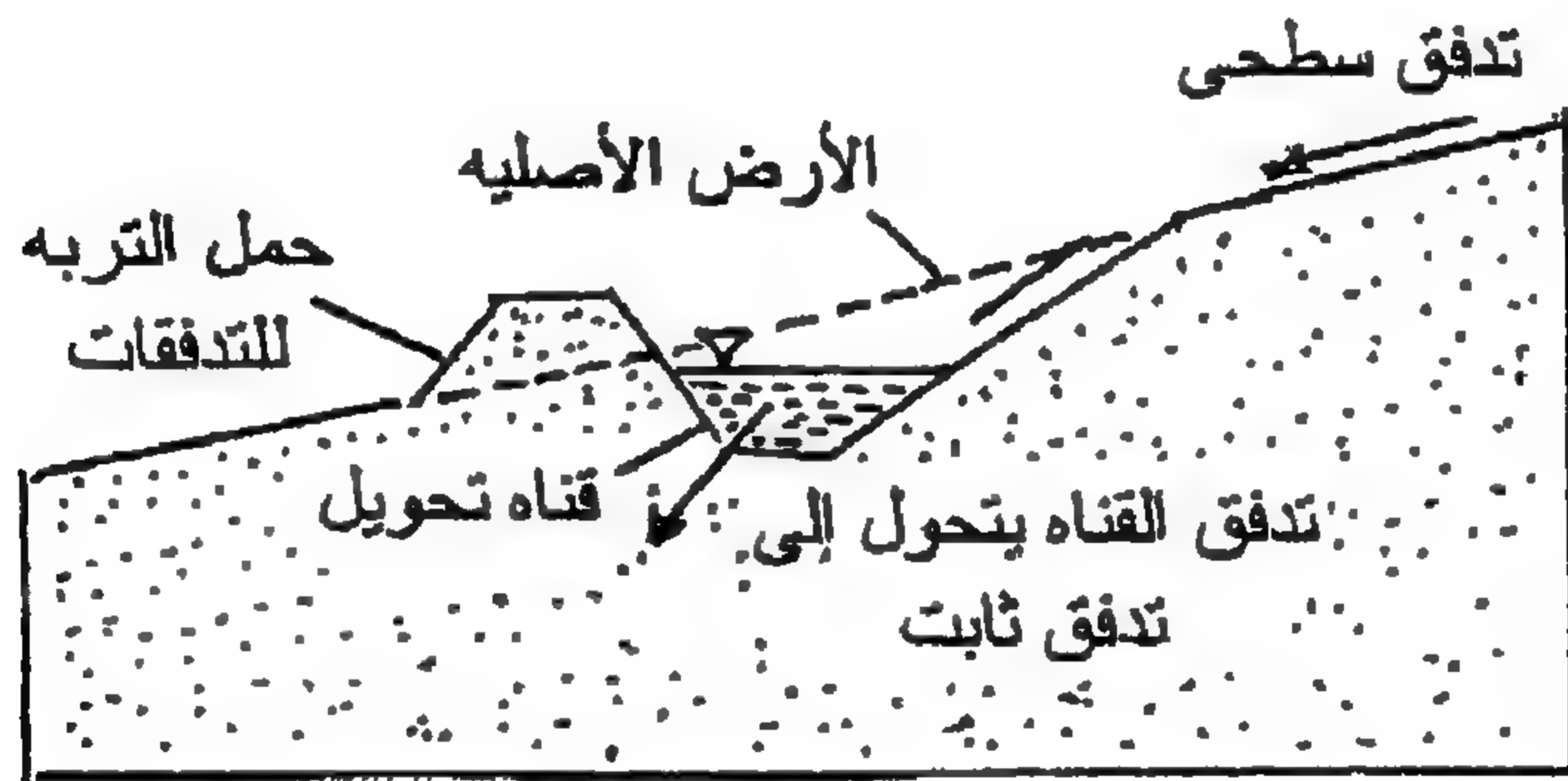


شكل (٢/٣) برج التبريد بتيار الهواء الطبيعى الحرارة تفقد فى الجو.

قطر البرج ١٠٠ متر وارتفاعه حولى ١٣٠ م

في الأماكن حيث لا توجد مساحات كافية لبركة التبريد، فإنه يمكن إنشاء أبراج التبريد لمنع حدوث التلوث الحراري. هذه الإنشاءات تستخدم مساحات أقل مقارنة بالبرك. النوع العادي هو برج التبريد ذو المقطع الزائد (Natural Draft Hyperbolic Cooling Tower)، حيث يكون فيه التبخر بسبب معظم الانتقال الحراري. أبراج التبريد ذات المقطع الزائد عادة تكون مرتفعة جداً.

عمل برج التبريد بالتبخير هو أساس عملية بسيطة، موضحة في الشكل (٢/٣). المياه الدافئة القادمة من المكثف يتم رشها إلى أسفل فوق عوائق أو ألواح رأسية، التي تسمى الملى. تتدفق المياه في طبقات رقيقة خلال الملى. الهواء البارد يدخل البرج خلال مدخل الهواء الذي يحيط بقاعدة البرج ويرتفع إلى أعلا خلال الملى. يحدث التبريد بالتبخير عند مرور الهواء البارد فوق الطبقات الرقيقة للماء الدافئ. يستمر تأثير المدخنة أو السحب الطبيعي بسبب اختلاف الكثافة بين الهواء البارد في الخارج والهواء الدافئ داخل البرج. تنتشر الحرارة في الجو لارتفاع حوالي ١٠٠ متر فوق قاعدة برج التبريد. المياه التي تم تبريدها يتم تجميعها في حوض عند قاع البرج وتدويرها ثانياً إلى مكثفات محطة الطاقة.



شكل (٢/٤) قنوات التحويل تقلل من مسافة التدفق فوق السطح، وبذا تقلل من برى التربة وترسيب المجارى المائية والبحيرات القريبة.

٣- الحد من تعرية التربة والترسيب : Soil Erosion and Sediment Control

التحرك الطبيعي لحبيبات التربة بواسطة الرياح أو الماء من مكان إلى آخر يسمى برى أو تآكل أو تعرية التربة. البرى وتآكل التربة يعتبر من المشاكل البيئية الحادة. التربة في المناطق الزراعية تعتبر مورد طبيعي ثمين، والفقد لهذه التربة الخصبة بفعل الاستخدام الغير عقلاني للأرض يمكن أن يسبب تدمير وخراب. كما أن تعرية التربة تعتبر من بين المصادر الرئيسية لملوثات المياه.

جسيمات التربة العالقة في الماء تعيق اختراق ضوء الشمس. وهذا بالتالي يقلل من نشاط التمثيل الضوئي للنباتات المائية والطحالب، بما يسبب إرباك الاتزان الإحيائي في المجارى المائية. وعند انخفاض سرعة الماء فإن الأجسام العالقة ترسب في قاع المجرى أو البحيرة. خمود الرواسب في القاع يحدث اضطراب في دورة التكاثر للأسماك والكائنات المائية الأخرى.

يوجد نوعين من أسباب برب التربة بفعل الماء، وهما البرى أو التعرية السطحية (Sheet Erosion) من المساحات الأرضية نتيجة سقوط الأمطار والتدفق فوق سطح الأرض للعواصف الممطرة، التعرية أو البرى للمجرى المائى أو إزالة التربة من قاع المجرى وأجناب المجرى نتيجة الحركة السريعة للمياه في المجرى المائى.

العوامل ذات التأثير على البرى السطحى تشمل غزارة سقوط الأمطار، مكونات التربة وتراكيبها، انحدار الميل، كمية التغطية النباتية. سرعة تدفق المجرى هي من أهم العوامل الهامة في نحر المجرى، ذلك رغم أن نوع التربة يعتبر هام كذلك. كمية المادة المحمولة بواسطة مجموع المجارى المائية الكبيرة يمكن أن تكون كبيرة جداً. كمثال فإن نهر الميسيسبى يحمل حوالى ١,٥ مليون طن في اليوم من الرواسب إلى المحيط. معظم هذه المواد تحمل كأحمال عالقة في التيارات المضطربة، ولكن جزءاً كبيراً يحمل كذلك كأحمال قاعية منزلقة على طول قاع المجرى.

الغطاء الطبيعى من النباتات والحشائش والأشجار يوفر الحماية ضد التآكل والبرى السطحى. الأنشطة المختلفة لاستعمالات الأراضى مثل الزراعة والإنشاءات، والتي تزيل النباتات الطبيعية (في حالة وجودها أصلاً) مؤقتاً وتعرض التربة العارية هي من أهم أسباب البرى الحاد ومشاكل الترسيب. مشروعات الإنشاء التي تشمل اضطرابات في التربة يمكن أن تكون من أهم هذين العاملين. البرى العشوائى للتربة في معظم مواقع الإنشاء يمكن أن يزيد عن البرى في المناطق ذات النباتات الطبيعية بنفس الحجم بمعامل يزيد عن ١٠٠ ضعف.

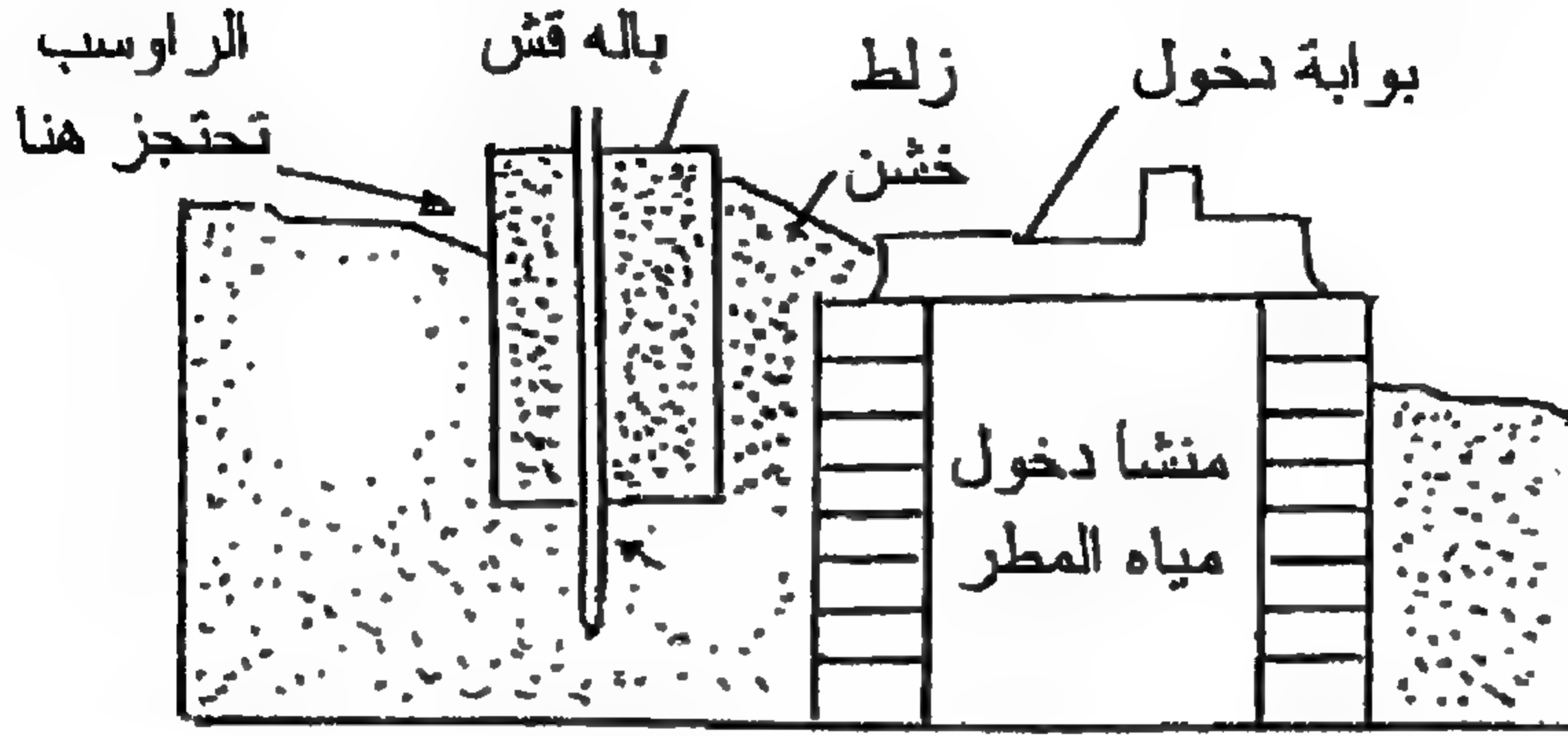
خطط ومواصفات الإنشاء يجب أن تصف مكان وتفاصيل الإجراءات التفصيلية للحد من البرى للتربة وثباتها ومنع حدوث تلوث للمياه. في بعض الأحيان يكون من المهم عمل خطة البرى للتربة والحد من الترسيب مصاحبة لوثائق مقاوله الإنشاءات. الطرق المحددة المستخدمة تتوقف أساساً على أنواع التربة وميل موقع الإنشاء.

إجراءات الحد من بَرى التربة تشمل الآتى :

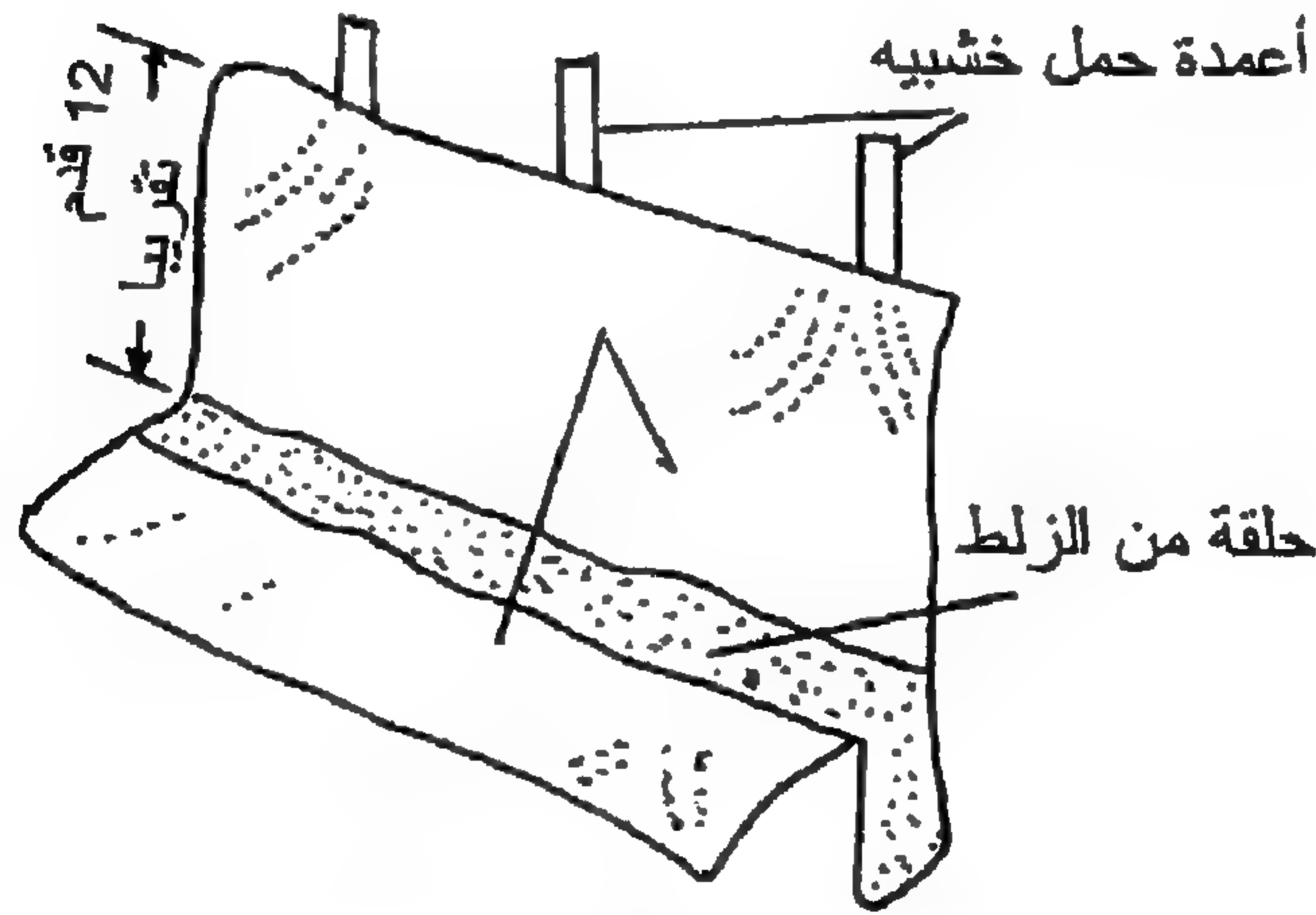
- ١- يمكن استخدام الغطاء المؤقت من الحشائش لخفض البرى بفعل الرياح والماء لحين تنفيذ الخطة الدائمة لإنبات البذور أو تثبيت التربة. يتم استخدام الجير والتسميد على أساس بيانات اختبارات التربة، وكذلك تنفيذ الخلط الجيد للبذور.
- ٢- يمكن استخدام مواد المهاد (Mulching Materials) (وهى طبقة من النشارة التى تفرش على الأرض لوقاية جذور النبات من الحرارة أو البرد)، وكذلك يمكن استخدام القش الغير نتن وذلك للتغطية المؤقتة للمساحات التى يصعب زراعتها بالنباتات بسبب الميل الحاد، عدم ثبات التربة أو أعمال الأنشاء.
- ٣- يمكن إنشاء قنوات التحويل عمودية على الميول لخفض طول الميل المفتوح، كما هو موضح فى الشكل (٢/٤). هذه القنوات يتم إنشائها بجسر على الجانب السفلى للميل، حتى تعمل على تحويل المياه إلى الأماكن حيث يمكن التخلص منها بأمان.
- ٤- يمكن وضع بالات القش حول مواقع مياه العواصف الممطرة أو عند النقطة المنخفضة فى الموقع لتتقاطع مع التدفقات الحاملة للرواسب ومنع دخول المياه إلى نظام الصرف كما فى الشكل (٢/٥).
- ٥- الأسوار المؤقتة كما فى الشكل (٢/٦) يمكن استخدامها لخفض البرى فى مواقع الإنشاء. وهى توضع عادة على حدود الموقع الخارجى على أدنى ارتفاع حيث تدفقات المياه.
- ٦- يمكن بناء أحواض أو برك للرواسب لتتقاطع مع المياه الحاملة لحبيبات التربة. الرواسب ترسب فى قاع البركة، بما يحمى المجارى المائية أو نظم الصرف تحت التيار من موقع الإنشاء هذه البرك يمكن أن تكون مؤقتة أو ثابتة.
- ٧- الإنشاءات الأرضية يمكن تصميمها لخفض ذروة الفيضانات والتدفقات العالية.
- ٨- يمكن استخدام تثبيت القنوات وحفر الصرف لتدقق المياه بدون البرى الحاد. يمكن خفض سرعات التدفق بالاستقامة المناسبة للميل. كذلك يمكن حماية القناة بالتبطين بالحشائش، الخرسانة، كتل الأحجار،.

٩- يتم عمل جدولة للإنشاءات لتقليل تعرض التربة العارية وذلك قبل الرصف النهائي أو تنفيذ التخطيط الجمالى.

١٠- يجب إتمام وسائل الصرف وحماية التربة مبكراً كلما أمكن ذلك.



شكل (٢/٥) نموذج لبالة القش والمرشح الزلطى الذى يمنع دخول الرواسب إلى نظام الصرف وبالتالي المجارى السطحية المحلية



شكل (٢/٦) سور مؤقت يمكن إنشاؤه لمنع البرى عند موقع الإنشاء

٤- تلوث المجرى المائى : (Stream pollution)

المجارى المائية والأنهار هى مياه سطحية حيث فيها تتحرك الكتلة المائية باستمرار فى قنوات بفعل قوى الجاذبية. وهى أقل عمقا وأقل عرضاً من البحيرات وفرصة تعرض مياهها لسطح الأرض أكبر. المياه المتدفقة تحمل الطحالب بسرعة أسفل المجرى وتعمل على تثبيط نمو النباتات الجذرية على قاع المجرى.

يمكن للمجارى المائية والأنهار تحلل المخلفات العضوية القابلة للتحلل البيولوجى إلى حد ما. لذلك، فإنه يمكنها استعادة نقائها من تأثيرات التلوث طبيعياً بدون مخاطر بيئية كبيرة أو مستمرة. تتوقف قدرة التنقية الذاتية على حجم وتركيز الملوثات وعلى تصرف المجرى المائى أو معدل تدفقه. عادة يقال أن حل مشكلة التلوث هو التخفيف. تأثيرات التخفيف واستمرار أداء الدفق للمياه المتدفقة هى عوامل واضحة من بين طاقة المجرى المائى فى التنقية. وبنفس الأهمية هو تأثير انتقال الأكسجين بين الهواء والماء، وهذا ما يسمى إعادة التهوية (Reareation).

الأكسجين المذاب فى الماء يتم تجديده باستمرار مع إذابة الهواء الجوى عند سطح الماء. المجارى المائية ذات التدفقات السريعة والمضطربة يتم إعادة تهويتها بكفاءة أكثر من المجارى العميقة بطيئة التدفق. وذلك بسبب زيادة المساحة السطحية والالتصاق بين الهواء والماء فى التدفقات المضطربة وجيدة الخلط.

الكثافة السكانية الحالية العالية تزيد عن طاقة المجارى المائية والأنهار فى معالجة صرف مخلفات الصرف الصحى الغير معالج حيث يلزم عمل إجراءات وقاية بيئية لحماية الصحة العامة. لذلك فإنه يلزم عمل درجة ما من المعالجة لإزالة الكم الكافى من الحمل العضوى القابل للتحلل البيولوجى (BOD) من مياه الصرف الصحى بما يمكن التخفيف فى المجرى المائى وإعادة التهوية من استكمال مهمة التنقية. مستوى المعالجة الذى يسمى المعالجة الثنائية يكون عموماً كافياً لهذا الغرض، وهو أدنى مستوى مطلوب من المعالجة طبقاً لمعايير صرف مياه الصرف الصحى المعالج.

من المهم ملاحظة أنه ليس كل الملوثات يمكن معالجتها أو التخلص منها بالطرق الطبيعية. وهذا واقع بالنسبة للملوثات العضوية الغير قابلة للتحلل البيولوجى أو المنيعه (Non Biodegradable or Persistent) وهذه لا تتحلل فى البيئة. حتى أن العملية الطبيعية للتخفيف غير مؤثرة عند احتجاز هذه الكيماويات المنيعه فى رواسب النهر.

مثالين لهذه المشكلة هما تراكم المادة الكيماوية السامة التى هى (Boly Chlorinated biphenol) فى رواسب نهر هادسون فى ولاية نيويورك وتلوث رواسب نهر جيمز فى فرجينيا بالمبيد الحشرى (Kepone). هذه المشاكل قد تظل لحين إزالة الترسيبات من قاع النهر ولكن عملية الإزالة هذه قد تزيد من التلوث وذلك بتقليب الرواسب الملوثة.

التخفيف : (Dilution)

توجد خطوتان أساسيتان في عملية معالجة المخلفات في المجرى أو النهر. أولاً العمليات الطبيعية التي تتم بالتخفيف والتهوية، ثانياً حدوث العمليات البيولوجية، التي فيها تستخدم الكائنات الحية الدقيقة التي في الماء الأكسجين المذاب لتحلل الملوثات العضوية وتحويلها إلى مواد غير ضارة. بهدف حساب درجة التنقية يكون من الضروري أولاً تقدير التأثير الطبيعي لتخفيف صرف المخلفات.

عند نقطة الصرف لمياه الصرف في المجرى المائي الجارى، فإن عملية الخلط الطبيعية والتخفيف تبدأ في الحال. باستثناء المجارى المائية ذات الإضطراب الضعيف، (Small Turblent streams)، فإنه من غير المحتمل أن يتم الخلط الجيد للملوثات في تدفقات المجرى عند أو قريباً من نقطة الصرف. ولكن تتكون سحابة كبيرة من المخلفات كما في الشكل (٢/٧). طول هذا الاتساع التدريجي لمنطقة الخلط يتوقف على الشكل الهندسى للقناة، سرعة التدفق، وتصميم ماسورة الصرف.

في إجراءات حماية المياه من التلوث، يكون عادة من الضروري استنتاج تركيزات الأكسجين المذاب ومستويات الأكسجين المذاب تحت التيار لنقطة صرف مخلفات الصرف الصحي. أحد أول الحسابات اللازمة لهذا تشمل تأثير التخفيف. بفرض أن التلوث يكون تام الخلط في تدفق المجرى (عند نقطة أسفل نهاية منطقة الخلط)، فإنه يمكن حساب تركيز التخفيف لأي معيار لنوعية المياه باستخدام الميزان المادى الآتى :

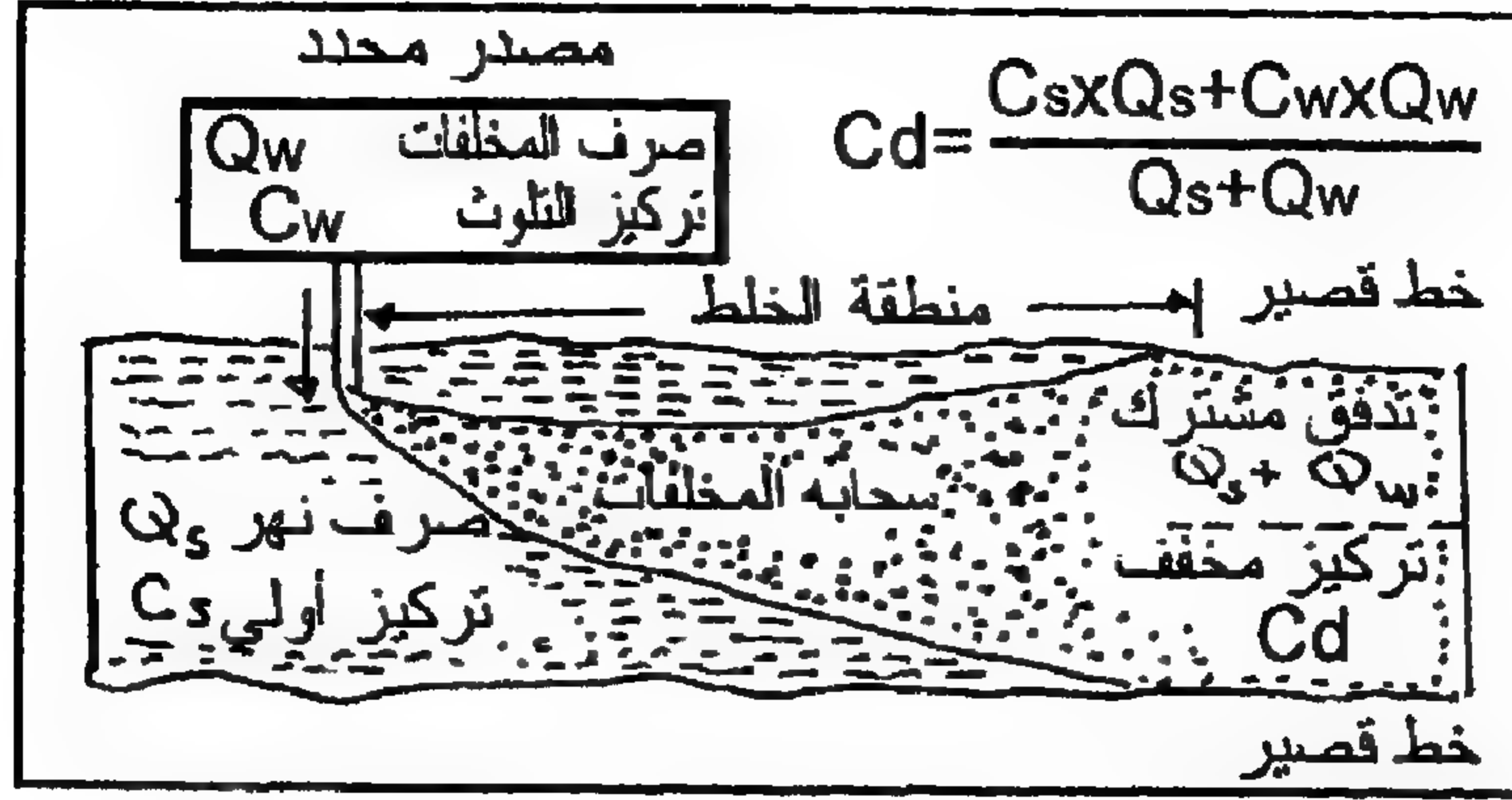
$$Cd = \frac{Cs Qs + Cw Qw}{Qs + Qw} \quad \text{معادلة رقم (١)}$$

حيث :

Cd = تركيز التخفيف أو درجة الحرارة.

Cs = التركيز الأصى للمجرى أو درجة الحرارة.

Cw = تركيز المخلفات أو درجة الحرارة.



شكل (٢/٧) تخفيف الملوثات من مصدر محدد، مثل محطة معالجة صرف صحي، يحدث خلال منطقة الخلط للمجرى المائي

مثال رقم (١) :

الحمل العضوي (BOD₅) للصرف من محطة معالجة صرف صحي هو ٢٥ ملجرام/لتر ومعدل التدفق لمياه الصرف المعالجة هو ٤ مليون لتر في اليوم. المجرى المائي المستقبل به حمل عضوي (BOD₅) ٢ ملجرام/لتر ومعدل تدفق المجرى هو ٤٠ مليون لتر في اليوم. احسب جملة الحمل العضوي (BOD₅) في المجرى أسفل منطقة الخلط تماماً.

الحل :

باستخدام المعادلة رقم (١)

$$C_d = \frac{2 \times 40 + 25 \times 4}{40 + 4} = \frac{180}{44}$$

$$= 4,1 \text{ ملجرام/لتر}$$

مثال رقم (٢)

نهر له تصرف الجو الجاف ١٠٠ قدم مكعب في الثانية ودرجة حرارة ٢٥°م. احسب أقصى تصرف لمياه التبريد عند ٦٥°م التي يمكن صرفها من محطة توليد الطاقة في المجرى المائي. افترض أن الحدود القانونية لزيادة درجة الحرارة في المجرى هي ٢°م.

الحل :

أقصى درجة حرارة مسموح بها للمجرى هي $27 = 2 + 25$ م

باستخدام المعادلة رقم (١)

$$27 = \frac{25 \times 100 + 65 \times Q_w}{100 + Q_w}$$

بضرب كلا طرفي المعادلة في $(100 + Q_w)$

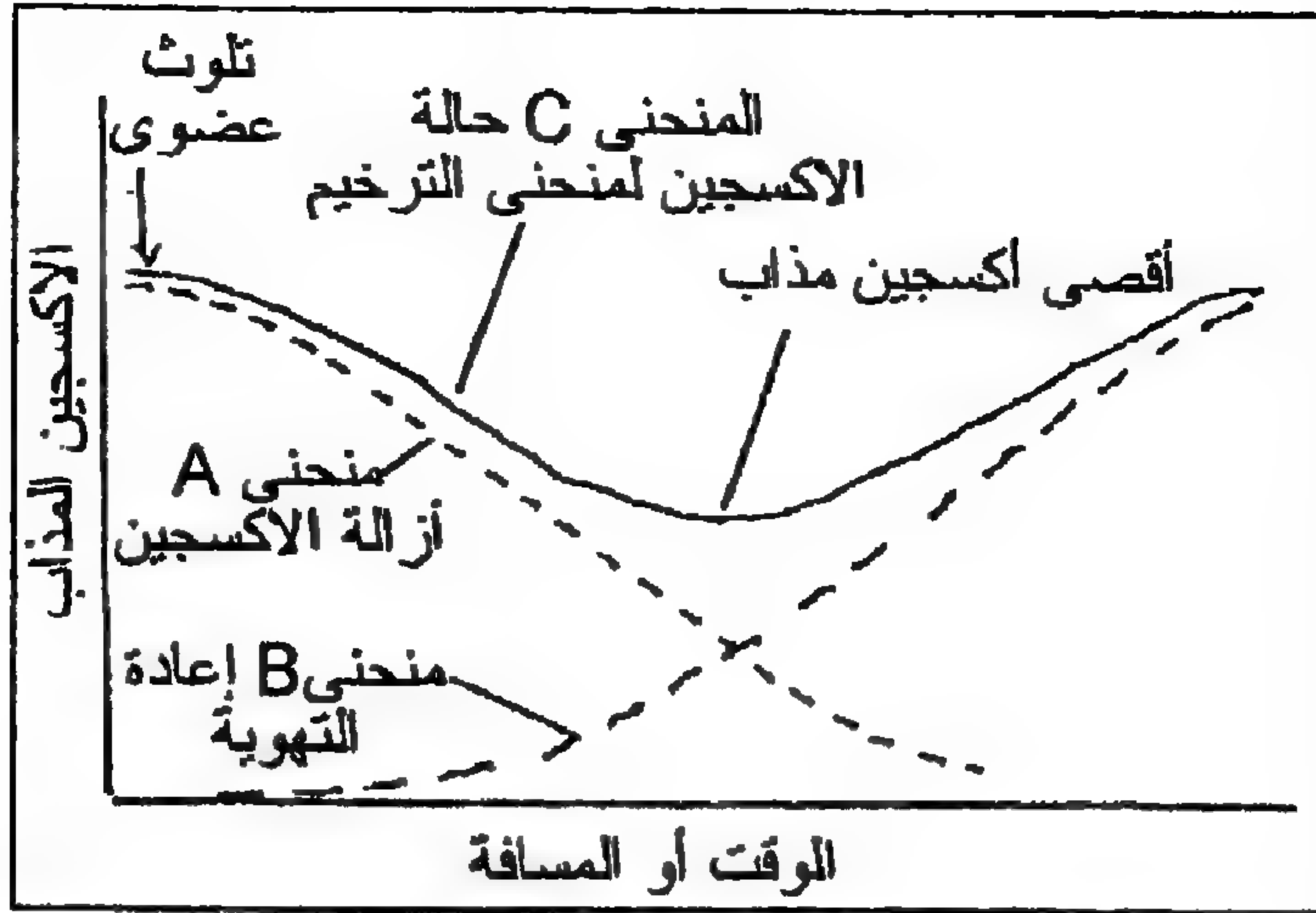
$$2700 + 27Q_w = 2500 + 65Q_w$$

$$38Q_w = 200 \dots$$

$$Q_w \dots = 200 \div 38 = 5,3 \text{ قدم مكعب في الثانية}$$

شكل الأكسجين المذاب : (Dissolved Oxygen Profile)

عند صرف مخلفات الصرف الصحي في المجرى المائي، فإن الأكسجين المذاب يستخدم بواسطة الكائنات الحية الصغيرة عند الأيض (Metabolize) وتحلل المواد العضوية من مياه الصرف. الميكروبات تفرز الأكسجين الحيوى المطلوب أو (BOD). هذا الأكسجين الحيوى المطلوب يسبب الانخفاض التدريجى للأكسجين المذاب فى المجرى المائي. وهذا موضح فى الشكل (٢/٨) حيث المنحنى (A) يسمى منحنى إزالة الأكسجين فى المجرى. عندما يحدث خفض تدريجى للأكسجين (Deoxygenation) فإن الأكسجين من الهواء الجوى يذوب فى الماء عند السطح. معدل انتقال الأكسجين من الهواء إلى الماء يتوقف على درجة الحرارة وكذلك على انخفاض الأكسجين المذاب والذي يساوى الفرق بين التركيز الحقيقى للأكسجين المذاب وقيمة تشبع الماء بالأكسجين المذاب. كلما زاد هذا الفرق كلما زادت سرعة انتقال الأكسجين. وهذا موضح فى المنحنى (B) فى الشكل (٢/٨) والذي يسمى منحنى إعادة التهوية للمجرى. لاحظ أن الميل (معدل التغير) لمنحنى إعادة التهوية يزداد بالتدرج مع انخفاض منحنى الخفض أو الإزالة للأكسجين.



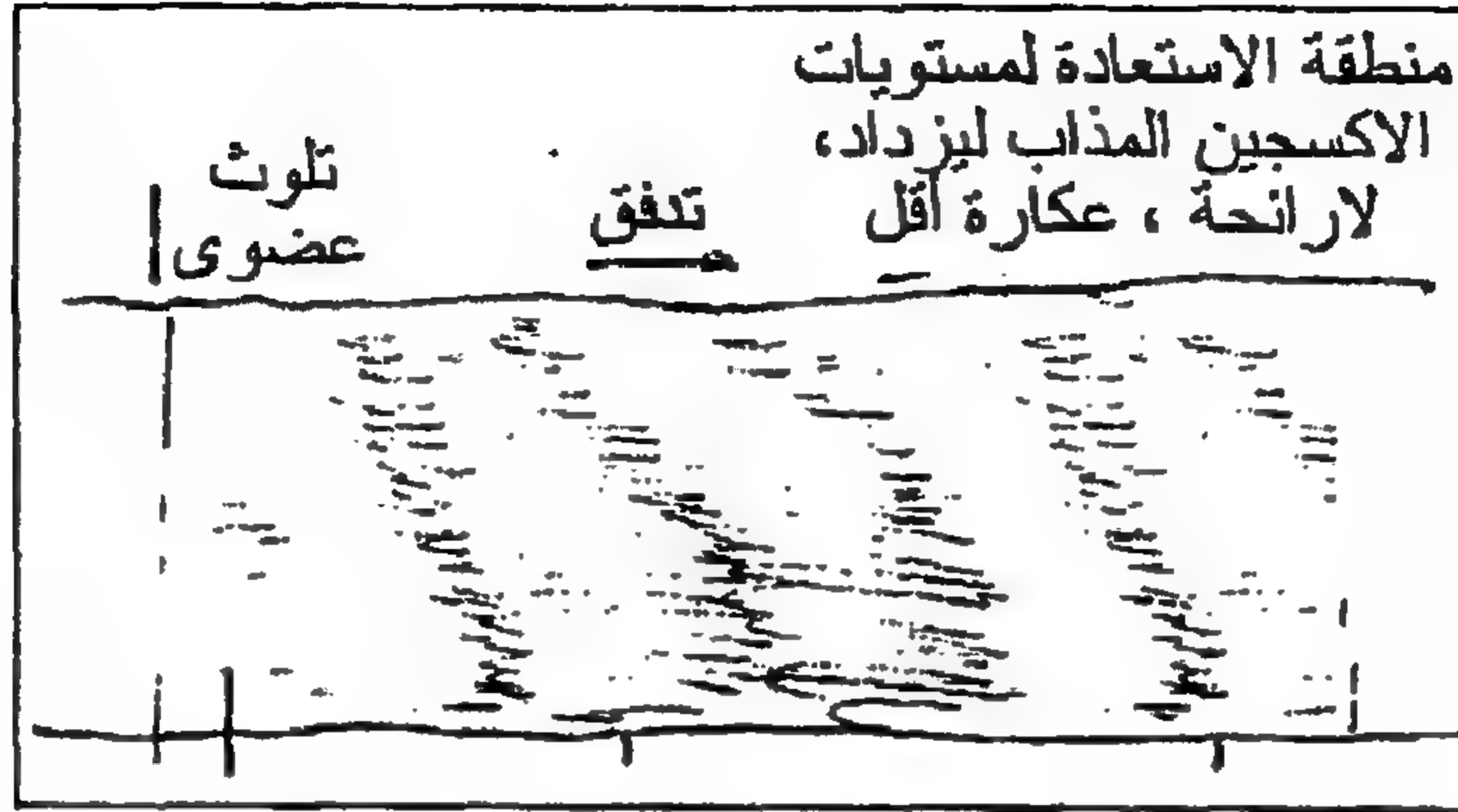
شكل (٢/٨) منحنى ترخيم الأكسجين يوضح تأثير التلوث العضوي على مستوى الأكسجين المذاب في مجرى أو نهر. بعد تحلل المواد العضوية فإن إعادة التهوية السطحية سوف تعيد النوعية الأصلية للماء. وهذا يسمى التنقية الذاتية للمجرى المائي.

في أي وقت معين، يكون مستوى الأكسجين المذاب في المجرى هو دلالة للتأثير المشترك لعملية خفض الأكسجين وإعادة التهوية. بمعنى آخر، فإن الأكسجين المذاب الحقيقي يساوي مجموع الأكسجين المذاب على منحنى الانخفاض التدريجي للأكسجين زائد الأكسجين المذاب على منحنى إعادة التهوية.

شكل مجموع الأكسجين المذاب مقابل الوقت موضح في المنحنى (C)، والذي يسمى ترخيم منحنى الأكسجين المذاب (DO sag Curve). نظراً لأن حاصل ضرب السرعة في الوقت يساوي المسافة حيث [متر / ث × ث = متر]، فإن المحاور الرأسية، الأفقية أو المحور (X) في الشكل (٥/٨) يمكن كذلك بيانه "كمسافة" للوصول إلى تركيز معين في المجرى. المنحنى (C) هو شكل عام لتركيزات الأكسجين المذاب على طول المجرى المائي ويسمى كذلك الشكل العام للأكسجين المذاب.

في المراحل الأولى يزيد معدل خفض الأكسجين عن معدل إعادة التهوية، لذلك فإن شكل بروفيل الأكسجين يبدأ في الترخيم (الانخفاض). بعد تحلل معظم المواد العضوية يبدأ شكل بروفيل الأكسجين في الارتفاع نحو مستواه الأصلي. أدنى محتوى من الأكسجين المذاب في المجرى يحدث عندما يتساوى معدل إعادة التهوية مع معدل الخفض التدريجي للأكسجين (إزالة الأكسجين). حساب هذا المستوى له أهمية في دراسات تلوث الماء.

في حالة التلوث العضوى الزائد أو الخفض الكبير في تدفقات المجرى فإن الأكسجين في الماء يمكن اختفاؤه تماماً. منحني الترقيم يتقاطع مع المحور الأفقى عند إذابة الأكسجين تساوى صفراً، بما ينتج عنه حالات لاهوائية أو تعفن. وهذا موضح في الشكل (٢/٩).



منطقة المياه الراكدة	منطقة التحلل النشط	منطقة التحلل تلوث
مستوى الأكسجين	مستويات منخفضة من	مرلي عكارة، مواد
المذاب عالي، ماء رائق	الأكسجين المذاب، احتمال	صلبه عالقه
بيئة صحية	حالة تعفن	

شكل (٢/٩) مناطق التلوث في المجرى الذي يستقبل ملوثات قابلة للتحلل البيولوجي

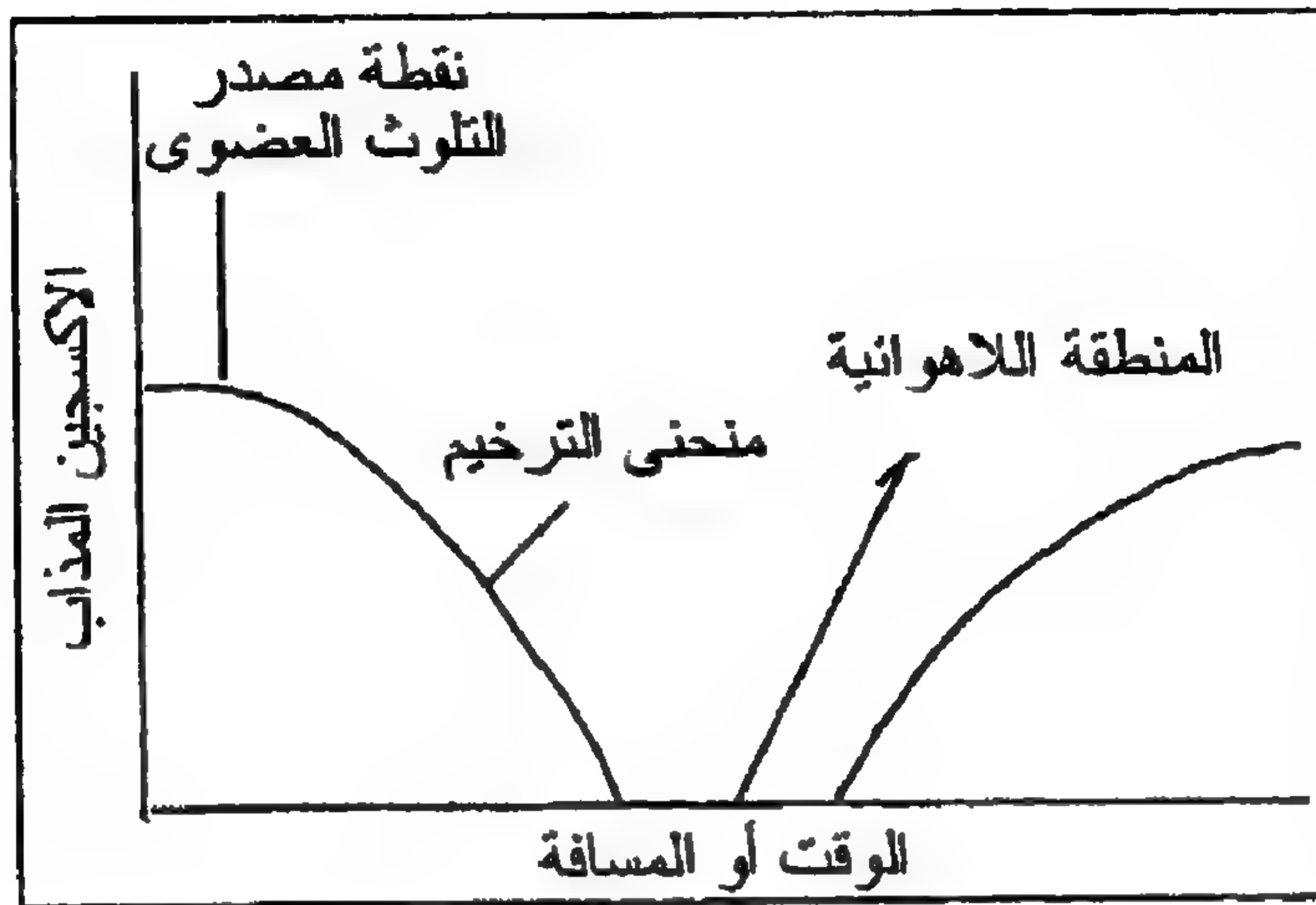
مناطق التلوث : (Zones of Pollution)

معظم المجارى المائية التي يحدث لها تلوث بفعل المصدر المعين (Point Source) للمواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجي يمكن وصفها وتقييمها في شكل أربعة مناطق محددة تقريبا الشكل (٢/٩).

المنطقة الأولى هي المنطقة الفاسدة (أو منطقة التحلل) (Degradation)، والتي تتكون أسفل نقطة الصرف للمخلفات. تتصف هذه المنطقة بوجود المواد الصلبة الطافية، والعكارة وشواهد مرئية أخرى للتلوث. مستوى الأكسجين المذاب يبدأ في الهبوط سريعا في هذه المنطقة.

عند انخفاض مستوى الأكسجين المذاب إلى حوالي ٤٠% من قيمة تشبعه، فإن منطقة التحلل النشط يعتبر أنها تبدأ. هذه المنطقة هي من صفات المياه شديدة التلوث. الأجناس العالية من الكائنات المائية والأصناف المرغوبة مثل سمك السلمون إما أن تموت أو

تهاجر بعيداً عن المنطقة. بعض أنواع الأسماك ذات المقاومة العالية يمكن أن تستمر. خليط الأصناف المختلفة يتغير بسبب انخفاض مستوى الأكسجين المذاب. ترسيبات الحماية للمواد الصلبة العالقة يمكن أن تتكون في المجرى المائي. في حالة حدوث حالات لاهوائية شكل (٢/١٠)، فإنه يمكن ملاحظة فقاعات غازية، وحماة طافية، ورائحة كريهة في هذه المنطقة.



شكل (٢/١٠) عند الأحمال المرتفعة من التلوث فإن مستوى الأكسجين المذاب يمكن أن ينخفض إلى الصفر. وينتج عن هذا رائحة كريهة وعكارة. مع مرور الوقت وعلى مسافة تحت التيار تحدث تهوية للماء ويستعيد الماء نوعيته.

بعد تحلل معظم المواد العضوية بفعل البكتيريا في الماء، فإن معدل إعادة التهوية يزيد عن معدل انخفاض وإزالة الأكسجين. عند زيادة مستوى الأكسجين المذاب ثانياً إلى نسبة ٤٠% من تركيز التشبع. تبدأ منطقة التنقية. هذه المنطقة تتصف بالتنقية التدريجية للماء بدون روائح منفرة، إعادة ظهور الكائنات المائية المرغوبة. عندما يكون حمل المخلفات العضوية في المجرى صغيراً أو في حالة عدم وجود تخفيف كبير، فإن منطقة التنقية (Recovery) يمكن أن تلي مباشرة منطقة (التحلل) (Degradation)، مع عدم تكون لمنطقة التحلل النشط إطلاقاً. يلي منطقة التنقية منطقة المياه النظيفة. هذه المنطقة تتصف بالماء النظيف، المستوى المرتفع من الأكسجين المذاب، عيش الكائنات المختلفة، الاستفادة بمراد الغذاء الغير عضوية الثابتة والمتبقية في الماء. في الواقع فإن المجرى قد استعاد نوعيته الأصلية خلال عملية التنقية الذاتية. ولكن من الطبيعي فإن نقط الصرف الأخرى أو المصادر العشوائية للملوثات يمكن أن تحدث تغييراً في شكل مناطق التلوث هذه في

المجرى المائي، ولكن هذا الشكل أو النموذج له قيمة في تفهم تلوث المجرى وإيجاد حلول تقنية للمشكلة.

حساب أدنى أكسجين مذاب :

من المهم القدرة على استنتاج أدنى مستوى للأكسجين المذاب في المجرى أو في النهر الملوث. فمثلاً، في حالة صرف مياه الصرف المعالج من محطة معالجة جديدة لمياه الصرف الصحي في مجرى به أسماك السلمون، فإن مستويات المعالجة الثنائية التقليدية يمكن ألا تزيل الأكسجين البيولوجي (BOD) الكافي لمنع الانخفاض الحاد في الأكسجين المذاب تحت التيار. التعيين ما إذا كان المطلوب شكل من أشكال المعالجة المتقدمة للمحافظة على استمرار حياة سمك السلمون، فإنه يكون من الضروري حساب أدنى أكسجين مذاب بسبب صرف المخلفات من مياه الصرف الصحي ومقارنته للقيمة المناسبة لسمك السلمون في المجرى.

أحد التقنيات المستخدمة في وصف وتقدير المجرى الملوث هو باستخدام يسمى بمعادلة إستريتر فيليبس (Streeter-Philips Equation). هذه المعادلة بنيت على فرضية أن العمليتين اللتين حدثا هما فقط خفض أو إزالة الأكسجين من الحمل العضوي BOD، إعادة التهوية بانتقال الأكسجين عند السطح. وتوجد معادلتان أساسيتان من نموذج ستريتر فيليبس لتلوث المجرى وانخفاض الأكسجين. الشكل (٢/١١) يوضح بعض المتغيرات لهذه المعادلات. أدنى أكسجين مذاب في المجرى هو الفرق بين مستوى التشبع للأكسجين المذاب، والخفض الحرج للأكسجين.

$$(٢) \quad t_c = \frac{1}{k_2 - k_1} \times \log \left[\frac{k_2}{k_1} \times \left(1 - D_i \times \frac{k_2 - k_1}{k_1 \times BOD_i} \right) \right]$$

$$D_c = \frac{k_1 \times BOD_L}{k - k_1} \times (10^{-k_1 t_c} - 10^{-k_2 t_c}) + D_i \times (10^{-k_2 t_c})$$

حيث :

t_c = الوقت الذي يستغرقه الانخفاض الحرج للأكسجين أو أدنى تركيز

للأكسجين، اليوم.

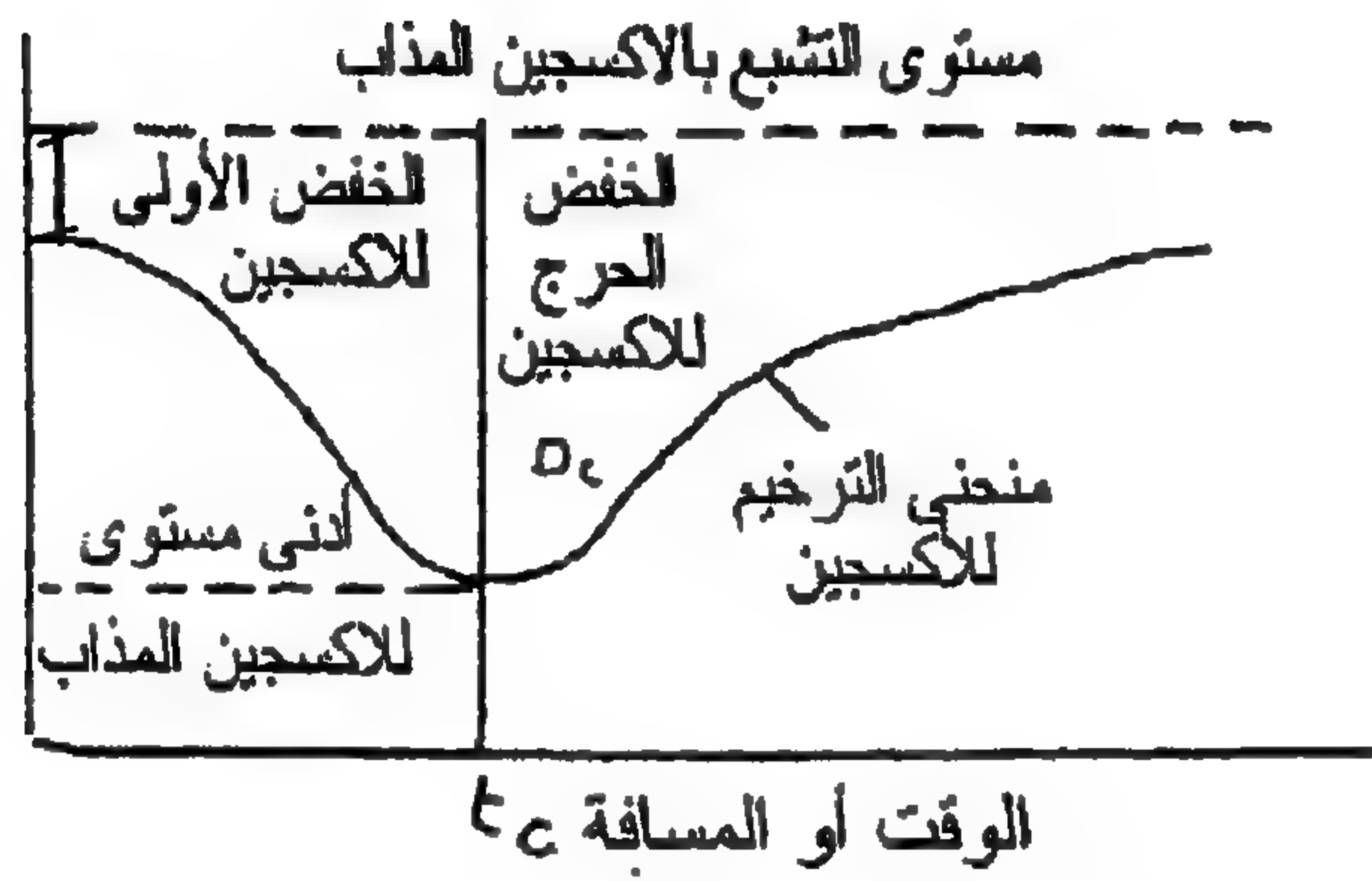
D_c = الخفض الحرج للأكسجين ملجرام/لتر.

D_i = الخفض الأولي للأكسجين بعد زمن t = صفر مباشرة أسفل نقطة صرف المخلفات في المجرى، ملجرام/لتر.

BOD_L = أقصى حمل عضوي للمجرى (BOD) أسفل نقطة صرف المخلفات مباشرة ملجرام/لتر.

K_1 = ثابت معدل خفض الأكسجين، اليوم $^{-1}$.

K_2 = ثابت معدل إعادة التهوية، اليوم $^{-1}$.



شكل (٢/١١) يمكن حساب الوقت الحرج t_c ، والخفض الحرج في الأكسجين باستخدام المعادلات. أدنى أكسجين مذاب هو الفرق بين مستوى التشبع بالأكسجين المذاب، والخفض الذي يتم حسابه.

قيمة K_1 يمكن تعيينها في المعمل. قيمة K_2 تتوقف على سرعة وعمق التدفق ويمكن تعيينها من الدراسات الحقلية أو بالمعادلة المناسبة. ثابت معدل إعادة التهوية K_2 يمكن أن يتغير للنهر من ٠,١ إلى ٤ للمجرى الضحل المضطرب. كلا من ثوابت المعدل K_1 ، K_2 يعتمد على درجة الحرارة.

والمعادلتان السابقتان يبدو أنهما معقدتين، وتم ذكرهما هنا لتوضيح قوة الرياضيات كأداة في المحاكاة البيئية والمساعدة في حل مشاكل تلوث المياه. ولكن رغم ما يبدو من التعقيد فإنهما ليسا بالدقة الكافية لتمثيل شكل الأكسجين في المجرى الملوث. العوامل الأخرى ذات التأثير على ميزان الأكسجين تشمل التمثيل الضوئي، وعملية التنفس للنباتات الجذرية والطحالب، ومتطلبات الأكسجين للرواسب في القاع. المعادلات التي تتناول هذه العوامل هي أكثر تعقيداً.

مثال :

الحمل العضوى المخفف (BODL) فى المجرى هو ٣ ملجرام/ لتر والأكسجين المذاب (DO) هو ٩ ملجرام/لتر. معدل تدفق المجرى ١٥ مليون جالون فى اليوم. مياه صرف صحى معالجة ذات حمل عضوى مخفف (BODL) = ٥٠ ملجرام/ لتر. الأكسجين المذاب فى مياه الصرف المعالج هو ٢ ملجرام/ لتر.

بفرض أن $K_1 = ٠,٢$ ، $K_2 = ٠,٥$ ومستوى التشبع للأكسجين المذاب هو ١١ ملجرام/لتر. عين أدنى مستوى للأكسجين المذاب فى المجرى. لمجرى سرعته ٠,٥ قدم/ الثانية، كيف يكون أدنى أكسجين مذاب تحت التيار؟

الحل :

أولاً، من الضرورى حساب الحمل العضوى المخفف (BODL) والأكسجين المذاب باستخدام المعادلة رقم (١).

$$(BOD_L) = \frac{15 \times 3 + 5 \times 50}{15 + 5} = \frac{295}{20} = 14.8 \text{ Mg / L}$$

$$DO = \frac{15 \times 9 + 5 \times 2}{15 + 5} = \frac{145}{20} = 7.3 \text{ M / L}$$

والآن أحسب الخفض الأولى فى الأكسجين كالاتى :

$D_t = \text{تشبع الأكسجين المذاب} - \text{الأكسجين المذاب الأولى}$.

$$= 11 - 7.3 = 3.7 \text{ ملجرام/ لتر.}$$

باستخدام المعادلة رقم (٢)

$$t_c = \frac{1}{0.5 - 0.2} \times \text{Log} \left[\frac{0.5}{0.2} \times \left(1 - 3.7 \times \frac{0.5 - 0.2}{0.2 - 14.8} \right) \right]$$

$$= \frac{1}{0.3} \times \text{Log} [2.5 \times (1 - 0.375)]$$

$$1.06 \text{ Log } (2.32) = 0.64 \text{ يوم}$$

لحدوث أدنى أكسجين مذاب سيستغرق ٠,٦٤ يوم (حوالى ١٥ ساعة).

الآن باستخدام المعادلة رقم (٣)

$$D_c = \frac{0.2 \times 14.8}{0.5 - 0.2} \times (10^{-2 \times 0.64} - 10^{-0.5 \times 0.64}) + 3.7 \times 10^{-0.5 \times 0.64}$$

$$= 9.87 \times (0.75 - 0.479) + 0.37 \times 0.479 = 2.63 + 1.73$$

$$= 4.4 \text{ Mg/L.}$$

أدنى أكسجين مذاب هو الفرق بين الأكسجين المذاب للتشبع والخفض الحرج في الأكسجين المذاب أو $11 - 4.4 = 6.6$ ملجرام/ لتر. عند سرعة 0.5 قدم في الثانية في 0.64 يوم المسافة تحت التيار لأدنى أكسجين مذاب هي :

0.64 يوم $\times 24$ ساعة في اليوم $\times 3600$ ثانية في الساعة $\times 0.5$ قدم في الثانية = 0 ميل تقريباً.

٥- تلوث البحيرة (Lake Pollution)

تلوث البحيرات الطبيعية أو الصناعية (الخزانات) يسبب مشاكل ولكنها تختلف عن المشاكل التي يسببها تلوث المجارى المائية أو الأنهار. هذا أساساً بسبب الخواص الطبيعية. الماء في المجرى المائي دائم الحركة ويوفر أداء الدفق للملوثات القادمة، ولكن في البحيرات المياه لا تتحرك كثيراً على الإطلاق وهي تحتجز لفترة زمنية طويلة. في بعض الأحيان الملوثات التي يتم صرفها في البحيرة يمكن أن تظل لسنين كثيرة. البحيرات كذلك تتأثر بشدة بفعل التغيرات الموسمية في درجات الحرارة.

في المجارى المائية، تؤثر الملوثات العضوية على حالة الأكسجين، في البحيرات تكون نوعية المياه أكثر اعتماداً على الغذاء النباتي وليس المواد العضوية في الصرف الصحي. فإن الفوسفات والنترات هما أهم غذاء حساس للنباتات. عند تراكم الملوثات المحتوية على الفوسفات والنترات في البحيرات، فإن النباتات المائية الجذرية والطحالب حرة النمو يمكن أن تنمو بوفرة.

الطحالب والنباتات المائية تموت أحياناً وترسب في قاع البحيرة، حيث تتحلل بفعل البكتريا والبروتوزوا. وذلك يسبب مطالب للأكسجين على الماء ويعمل على خفض الأكسجين المذاب في أجزاء من البحيرة. زيادة نمو الطحالب، أو السحب الطحلبية يمكن أن يكون غطاءً من القاذورات الطافية على سطح الماء. وهذه لا ترى، ومع النمو الكثيف

للنباتات الذى يحدث على طول الشاطئ، فإنها يمكن أن تعيق حركة القوارب وعمليات صيد الأسماك. البحيرة التى تعاني من السحب الطحلبية ليست منتجعا جيد للترفيه والاستمتاع. هذا بالإضافة إلى أنه فى حالة استخدام مياه البحيرة فى الإمداد بالمياه للشرب والاستخدام المنزلى فإن الطحالب تزيد من تكاليف معالجة المياه لأن الخلايا النباتية المجهرية تميل إلى إحداث انسداد فى مسام المرشح فى وحدة المعالجة بما يتطلب زيادة معدل نظافة المرشحات. كذلك فإنه يمكن أن يكون مطلوبا كيماويات إضافية للمساعدة فى الحد من المذاق والرائحة للمياه التى يسببها وجود الطحالب. تأكل النباتات، مع مواد التربة التى تحمل إلى البحيرة تتراكم بالتدريج فى شكل رواسب عند قاع البحيرة. ومع انخفاض منسوب المياه وبالتالي زيادة الدفء فإن ميزان الكائنات المائية يتأثر حيث أصناف تهاجر وأخرى تعود وهكذا.

فرط النماء الطحلبى وتعفنه فى البحيرة : (Eutrophication)

حقيقة زيادة عملية الغذاء وإمتلاء البحيرة التدريجى، هو ظاهرة طبيعية. وهى تسمى النماء الطحلبى (Eutrophication) ويمكن تقديرها أنها استمرار شيخوخة البحيرة الذى لا يمكن تفاديه.

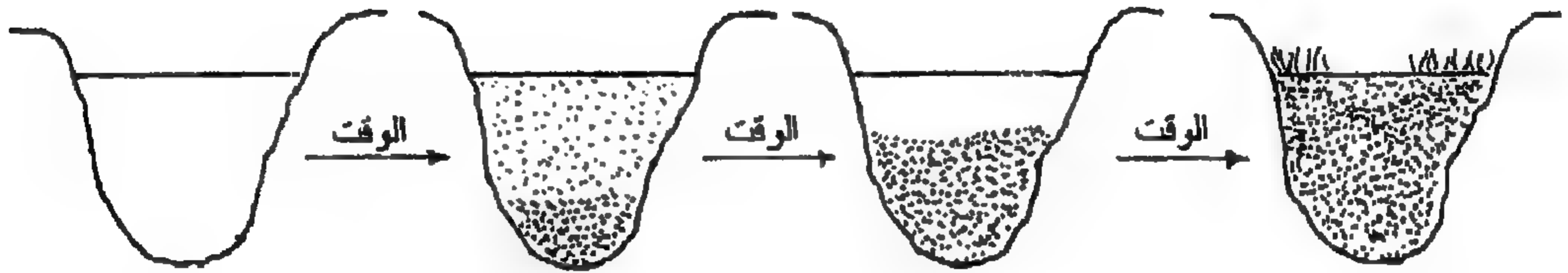
البحيرات لها دورة حياة طبيعية. معظم البحيرات تبدأ جيولوجيا ككتلة مائية راقية عميقة باردة. فى هذه المرحلة، فإنها تسمى بحيرات فقيرة الغذاء وغنية بالأكسجين (Oligotrophic). وهذه عادة يكون لها قاع رملى أو حجرى، وقليل جدا من الغذاء، وندرة الحياة النباتية أو السمكية. بعد سنين تتراكم المواد الغذائية ببطء وتدخل كائنات أكثر من مجارى الدخول وما يحيطها. الرواسب الغرينية الرملية (Silty) تبدأ فى التكوين عند القاع مع مرور البحيرة خلال مرحلة التغذية المتوسطة (Mesotrophic) من وجودها.

مرحلة النماء الطحلبى للدورة الحياتية للبحيرة تتصف بضخالة ودفء المياه، مع الغذاء الكافى لغذاء الأعداد الكبيرة من الكائنات النباتية والأسماك. فى بحيرة النماء الطحلبى يوجد أحيانا سحبيات بين الطحالب فى الماء، كما سبق توضيحه، وفى أوقات معينة من العام فإن الماء عند القاع يمكن أن يكون خاليا من الأكسجين المذاب. زيادة النماء الطحلبى وتعفنه وشيخوخة البحيرة يؤدي إلى ما يسمى البحيرة الهرمة (Senescent Lake)، التى تتصف بالترسيبات الكثيفة من الغرين العضوي والمستويات المرتفعة من مواد الغذاء. البحيرات الهرمة تكون شديدة الضخالة مع زيادة نمو النباتات الجذرية خلال

البحيرة. قد يصل حال البحيرة إلى ما يسمى المستنقع مع استمرار العمليات الجيولوجية والبيئية الطبيعية. شيخوخة البحيرة موضحة في الشكل (٢/١٢).

العملية الطبيعية للنمو الطحلبى فى البحيرة وتعفنه وانخفاض الأكسجين المذاب من مراحل انخفاض الغذاء ووفرة الأكسجين إلى مرحلة الهرم تستغرق آلاف كثيرة من السنين. وهى عملية شديدة الإبطاء.

ولكن كثيراً من الناس يستخدمون تعبير النمو الطحلبى (Eutrophication) مرادفاً للتلوث عند الإشارة إلى البحيرات. ربما أن الصفة الأكثر دقة للمشكلة تكون النمو الطحلبى المستتب (Cultural Eutrophication). النمو الطحلبى المستتب هو تعجيل وإسراع عملية الشيخوخة الطبيعية بسبب الأنشطة الأدمية فى حوض الصرف أو روافد تغذية البحيرة.



أقدم مرحلة للبحيرة	المواد الغذائية وفيرة	بدء تراكم للرواسب	ماء رائق عميق، قليل
ضحلة جداً، زيادة	الماء دافئ وضحل	ومواد الغذاء حيث يزداد	مواد الغذاء ، وقليل
كثافة ونمو النباتات	نسبياً مع نمو كثير من	ظهور تجمعات للكائنات	جداً من الكائنات
الجذرية	النباتات وبعض الكائنات	المائية	المائية
	المائية الأخرى ويحدث		
	نمو كثيف للطحالب		

شكل (٢/١٢) المراحل الأربعة لعمر البحيرة. كل البحيرات تمر خلال المراحل العمرية الطبيعية التى تسمى فرط النماء الطحلبى وتعفنه. الأنشطة الأدمية

طبيعى تعجل هذه العملية

الحد من النمو الطحلبى المستتب :

حوالى ثلث البحيرات فى الولايات المتحدة فاسد بدرجة كبيرة وذلك نتيجة النمو الطحلبى. وحوالى ثلث السكان يعيشوا على مسافة حوالى عشرة أميال من البحيرة. مخلفات الصرف الصحى المعالج وتدفقات مياه الأمطار السطحية تحمل كميات كبيرة من

مواد الغذاء للنباتات المائية (الطحالب) في هذه البحيرات بما يعجل من عملية النمو الطحلي وتغفن النباتات الميتة وانخفاض المحتوى من الأكسجين المذاب في الماء.

مركبات الفوسفور والنيتروجين هما من أهم مواد الغذاء للنباتات، ولكن، يعتبر الفوسفور العامل الحدي ويحتاج إلى درجة عالية من التحكم. ويلزم فقط تركيز الفوسفور الغير عضوي حوالي ٠,٠٢ ملجرام/لتر ليسبب وجود سحابة طحلبية في مياه البحيرة، النيتروجين الغير عضوي يمكن أن يكون مستوى تركيزه أكبر من عشرة أضعاف هذا المستوى. في حالة المحافظة على تركيزات الفوسفور لتكون أقل من ٠,٠٢ ملجرام/لتر فإنه عادة لا يحدث نمو كبير للطحالب. في المناطق حيث معظم مدخلات مواد الغذاء من مصادر مشتتة، مثل التدفقات السطحية من المساحات الزراعية، فإن طرق المعالجة المتقدمة لمياه الصرف الصحي تصبح ذات قيمة ضعيفة كطريقة للتحكم. ولقد ثبت أن أكثر من ٧ ملايين طن من النيتروجين، نصف مليون طن من الفوسفور تدخل المياه السطحية من المناطق الزراعية كل عام في الولايات المتحدة. الاستخدام الرشيد للأسمدة، وكذلك التحكم في نحر التربة، حيود تدفقات المياه السطحية يجب أن يكون لهم دور لحماية البحيرات في المناطق الزراعية.

الطريقة الأخرى لخفض مدخلات الغذاء هو بتحويل تدفقات مياه الصرف الصحي المعالج حول البحيرة إلى كتلة مائية أخرى مثل مجرى مائي، والذي يكون أقل حساسية لمواد الغذاء. هذه الطريقة للحد من النمو الطحلي تتطلب الإنشاء لنظم خطوط مواسير ممتدة ومتقاطعة.

مصدر آخر للتلوث بمواد الغذاء في البحيرات هو التسرب تحت السطحي من نظم الصرف تحت السطح لمخلفات الصرف الصحي مثل خزانات التحليل. حيث ثبت من الدراسات التي قامت بها وكالة حماية البيئة (EPA)، أن كل خزانات التحليل للصرف الصحي على مسافة حتى ٩٠ متراً من البحيرة يمكن أن تساهم في وصول الغذاء الطحلي إلى البحيرة. درجة هذا التلوث تعتمد على عمق المياه الجوفية والطبقة الصخرية، وكذلك ميل ومكونات التربة المحلية. عمر وحجم نظم التحليل للمخلفات الصحية هي كذلك عوامل هامة ذات تأثير على أحمال المواد الغذائية. يمكن الحد من المضايقات والمشاكل التي يسببها النمو الطحلي في البحيرات والخزانات مؤقتاً باستخدام كبريتات النحاس.

كبريتات النحاس تقتل الطحالب، ولكن يجب أن تكون الجرعة مناسبة ومدققة بحذر، ذلك لأنه يمكن أن تكون قاتلة للأسماك كذلك.

بدلاً عن الكيماويات يمكن التخلص المؤقت من المشكلة المتعلقة بالنمو الطحلبى بحصد الطحالب والنباتات. يمكن استخدام تجهيزات قطع تحت الماء مركبة على قوارب لقطع النباتات المائية ذات الجذور، وكذلك يمكن استخدام الشباك (Dredges) لإزالة الترسبات، ولكن هذه ليست إجراءات عملية في حالة الكتل المائية الضخمة.

الطبقات الحرارية : (Thermal Stratification)

البحيرات والخزانات تتأثر بالتغيرات الموسمية لدرجة الحرارة. هذه التأثيرات تسبب وجود طبقات من الماء وكذلك خلط أو انقلاب بسبب اختلافات درجة الحرارة. كلا من وجود الطبقات الحرارية والانقلاب الموسمي يمكن أن يكون لهما آثار كبيرة على تلوث ونوعية مياه البحيرة. في درجة حرارة المناخ، تحدث دورة الطبقات والانقلاب مرتين في العام، ففي حالة المناخ الدافئ حيث لا تتجمد المياه فإن الدورة تحدث مرة واحدة. وتكون الطبقات بسبب اختلافات درجة الحرارة في مياه البحيرة مرتبط إلى حد كبير بشهور الصيف الحارة. مياه البحيرة تصبح دافئة بالهواء، والمياه الدافئة تكون طبقة عليا تسمى الطبقة البحرية السطحية (Epilimnion). المياه الأبرد وبالتالي الأكثر كثافة تظل عند قاع البحيرة في طبقة تسمى طبقة المياه الباردة السفلى في البحيرة (Hypolimnion). طبقة من الماء رقيقة نسبياً مع الانخفاض السريع في درجة الحرارة من القمة إلى القاع والتي تسمى طبقة المنحدر الحراري (Thermocline) تفصل كلا من الطبقة البحرية السطحية وطبقة المياه الباردة السفلى في القاع. طبقة المنحدر الحراري هذه تعمل كحاجز طبيعي، الذي يحد من خلط المياه ما بين الطبقات العليا والسفلى للبحيرة. وهذا موضح في الشكل (١-٢/١٣).

المياه الدافئة في الطبقة السطحية تختلط بالرياح وتستقبل طاقة من الشمس بما يمكنها من تنشيط نمو الطحالب، هذا الماء العكر نسبياً يعيق اختراق ضوء الشمس إلى أعماق كبيرة. طبقة المياه الباردة السفلى الراكدة تكون باردة ومظلمة نسبياً. لهذا فإن بعض أنواع الأسماك تفضل هذه البيئة الباردة المظلمة، ولكن المياه عند القاع قد تكون ذات نوعية غير

جيدة وخاصة في البحيرة متوسطة التغذية (Mesotrophis). تحلل الرواسب في القاع يمكن أن يسبب خفض في الأكسجين المذاب في هذه المنطقة، أحيانا تحدث حالات لاهوائية عند قاع البحيرة مع انخفاض درجة حرارة الهواء الجوي أثناء شهور الخريف، فإن ماء الطبقة السطحية يبرد ويصبح أكثر كثافة، ويبدأ في الهبوط نحو قاع البحيرة. أحيانا، تصبح كل البحيرة تامة الخلط وتختفي الطبقات الواضحة جيدا في فصل الصيف. هذه الدورة والتي تسمى سقوط الانقلاب (Fall Over Turn) موضحة في الشكل (١٣/٢-ب).

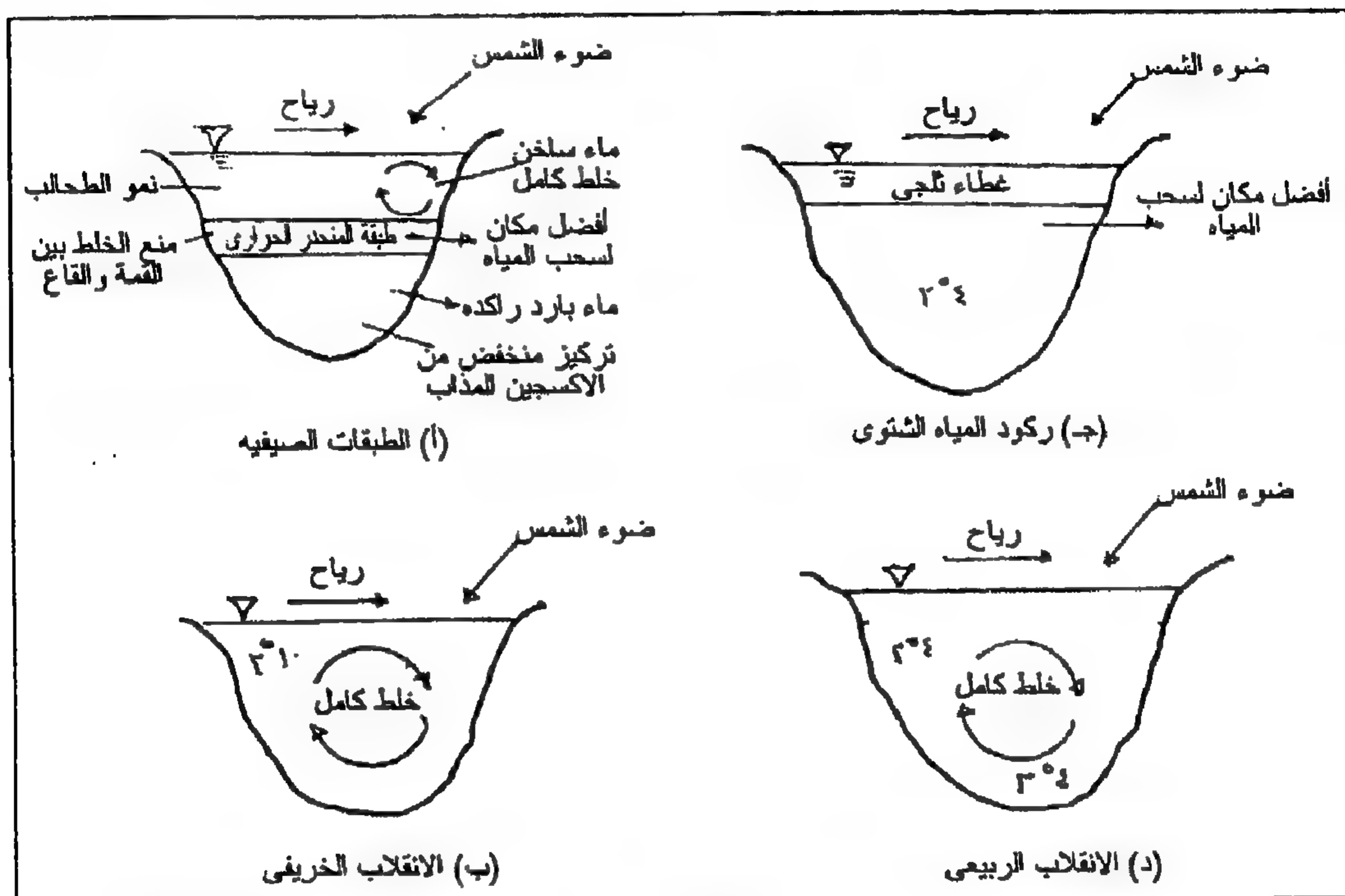
في شهور الشتاء الباردة، عندما تغطي الثلوج سطح البحيرة (وهذا غير وارد في البلاد ذات المياه الدافئة) يحدث حالة من الركود الشتوي، ثم، في الربيع وعند ذوبان الجليد، وعند ارتفاع درجات الحرارة أعلا من 4°م (التي عندها تزداد كثافة الماء)، فإنه يبدأ في الهبوط نحو القاع، وبمساعدة الرياح فإن كل البحيرة تصبح تامة الخلط ثانياً. وهذا ما يسمى بانقلاب الربيع (Spring Over Turn). الركود الشتوي والانقلاب الربيعي موضح في الشكلين (١٣-٢-ج، د).

البحيرات والخزانات المستخدمة في إمدادات المياه، يكون الركود والانقلاب له تأثير على نوعية المياه. أثناء السقوط للانقلاب، كمثال، تصبح المياه ذات النوعية المتدنية في القاع (والتي تسمى طبقة القاع الباردة) تامة الخلط خلال كل حجم البحيرة. وهذا عادة يزيد من مشكلة المذاق والرائحة في المياه المعالجة بالطرق التقليدية إلا إذا تم أخذ خطوات إضافية في عملية المعالجة (مثل استخدام الكربون المنشط في المرشحات). إنشاءات مأخذ المياه يمكن بنائها في البحيرة بحيث تكون بوابات الدخول والمحابس عند أعماق متعددة. هذا يوفر المرونة في التشغيل وكذلك إمكانية الحصول على المياه ذات النوعية الجيدة وضخها إلى وحدة المعالجة. أثناء فصل الشتاء، تكون أفضل نوعية للمياه عند سحبها أسفل الغطاء الثلجي مباشرة. في الصيف، تكون المياه السطحية ومياه القاع ذات نوعية متدنية. في هذا الوقت من العام، أفضل نوعية للمياه يتم سحبها من عمق أسفل طبقة المنحدر الحراري مباشرة.

تمت محاولات عديدة من الطرق لخفض الآثار الضارة لتأثيرات الطبقات الحرارية. عند انخفاض المحتوى من الأكسجين المذاب وزيادة النشاط اللاهوائي في طبقة المياه

الفصل الثاني

الباردة السفلى فى البحيرة، فإنه أحيانا يتم نثر الهواء المضغوط خلال مواسير متقبة موضوعة عند قاع البحيرة لرفع مستوى الأكسجين المذاب فى الماء. وأحيانا يكون الخلط الميكانيكى والخلط للطبقات يكون مؤثرا لتحسين نوعية المياه. أحد الطرق هى بضخ مياه القاع الباردة نحو السطح. المياه الباردة تعمل على خفض مشاكل الطحالب، وبذا تقل مشاكل المذاق والرائحة فى الماء.



شكل (٢/١٣) الطبقات الموسمية والخلط للبحيرة أو الخزان له تأثير على نوعية المياه

٦- تلوث المياه الجوفية (Ground Water Pollution)

تبلغ استخدامات المياه الجوفية حوالى ٢٥% من المياه العذبة المستخدمة فى كل الأغراض فى كثير من دول العالم بينما تصل هذه النسبة حوالى ١٠% فى مصر، بما فيها استخدامات الشرب والاستخدام المنزلى والرى والاستخدام فى الصناعة. ورغم هذا الاعتماد الكبير نسبياً إلا أن المياه الجوفية أصبحت لسنين طويلة أحد أهم مصادر المياه الطبيعية المهمة فى كثير من دول العالم.

ونظراً لأنها تحت سطح الأرض فإن المياه الجوفية غير منظورة مثل الموارد الطبيعية الأخرى، مثل الأنهار والبحيرات، وبذا قل استخدامها والمحافظة على صلاحيتها.

المياه الجوفية هي عادة ذات نوعية ممتازة. هذا أساسا بسبب الترشيح الطبيعي الذي يحدث في طبقات التربة التي يتحرك خلالها الماء ببطء. المسافة التي يمكن أن يقطعها الملوث في التربة تعتمد على كل من نوع التربة ونوع الملوث. فمثلاً، الترسيبات من الرمال الناعمة يمكن أن تزيل المواد الصلبة العالقة والبكتيريا من الماء في مسافة قصيرة، بينما الزلط أو تشققات الصخور يمكن أن تسمح لتلك الملوثات بأن تتسرب إلى مسافات كبيرة. الملوثات المذابة لا تتأثر مطلقاً بفعل عملية الترشيح للتربة، رغم احتمال حدوث عمليات أخرى مثل الإدمصاص. وفي خلال سبعينات القرن الماضي زاد عدد اكتشافات تلوث المياه في كثير من الأماكن. هذه الملوثات تجيء من مصادر كثيرة ومتعددة بما فيها مواد متعددة أكثرها تأثيراً هي المركبات العضوية المخلقة (Synthetic) وهذه تشمل مجموعة من المواد تسمى الهيدروكربونات الكلورة (Chlorinated - Hydrocarbons) مثل التراي كلورو إيثيلين ورابع كلوريد الكربون. كثيراً من هذه المواد العضوية سام وبعضها يمكن أن يكون مسرطناً، أو مسبباً للطفر الوراثي في الجينات (Mutagens)، وهذا يشكل مخاطر حادة على الصحة العامة عند تركيزات منخفضة حتى ١٠ ميكروجرام في اللتر (١٠ جزء في المليار).

من بين كل أنواع ملوثات المياه، ربما يكون ذلك هو الأشد غدراً، ذلك لأنه عند التركيزات المنخفضة فإن هذه الملوثات نادراً ما تسبب مذاق أو رائحة لمياه الشرب. الماء يبدو رائعاً بلورياً، ولكنه بعيد كل البعد عن نقائه الأصلي. في بعض الحالات، وجد أن تركيزات المواد العضوية المصنعة في المياه الجوفية الملوثة زاد بأضعاف المستوي الموجود من هذه المركبات التي وجدت في الأنهار شديدة التلوث.

المعدل البطيء لتدفق المياه الجوفية في الخزان الجوفي تم تناوله في الفصل الثالث. وهذا عامل هام عند تقدير تأثير تلوث المياه الجوفية. نظراً لأن المياه الجوفية تتحرك ببطء، حوالى أقل من ٣٠ متراً في العام، فإن الخزان الجوفي الملوث سيظل ملوثاً لمئات السنين. في حالة تلوث الخزان الجوفي المستخدم لإمدادات مياه الشرب فقد يكون من الضروري ترك الآبار الملوثة وحفر آبار جديدة على مسافة بعيدة أو البحث عن مصادر سطحية بديلة. في بعض الحالات يكون من الناحية الاقتصادية أن الأفضل هو إقامة وحدات معالجة خاصة، مثل أجهزة التهوية أو مرشحات الكربون النشط، لإزالة الملوثات، ولكن هذا يضيف عبء مادي على عملية معالجة المياه.

مصادر التلوث :

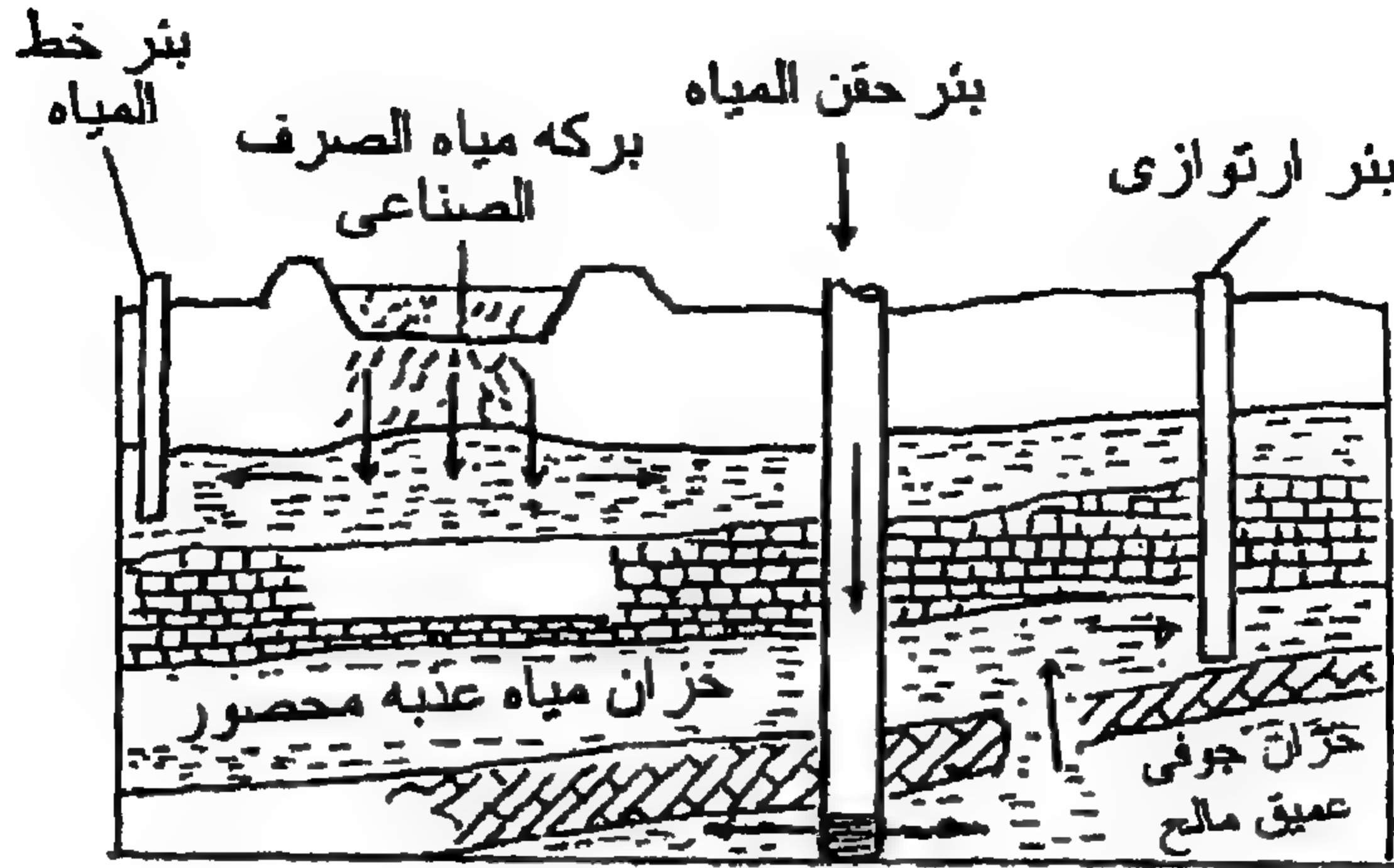
حتى فى المناطق البعيدة عن الأنشطة الإنسانية فإن المياه الجوفية قد لا تكون نقية. رغم خلوها من العكارة بسبب الترشيح الطبيعى، إلا أنها تحتوى عادة أعلى مواد معدنية مذابة. وهذا متوقع نظراً لالتصاق الماء مع المواد المعدنية فى التربة وترسبات الصخور لمدة زمنية طويلة. المياه الجوفية عادة يكون مستوى العسر فيها أعلا من المياه السطحية لهذا السبب، ولكن فى معظم الحالات لا تشكل الملوثات الطبيعية للمياه الجوفية أى تهديد للصحة العامة.

المشكلة الرئيسية بالنسبة لمخاطر تلوث المياه الجوفية كانت الصرف العشوائي للمخلفات والإنسكابات العرضية للمواد الخطرة وخاصة تلك التى من الأنشطة الصناعية. المنتجات البترولية التى تتسرب من خزانات الحفظ تحت الأرض القديمة هى مصدر آخر لتلوث المياه الجوفية.

المخلفات الصناعية :

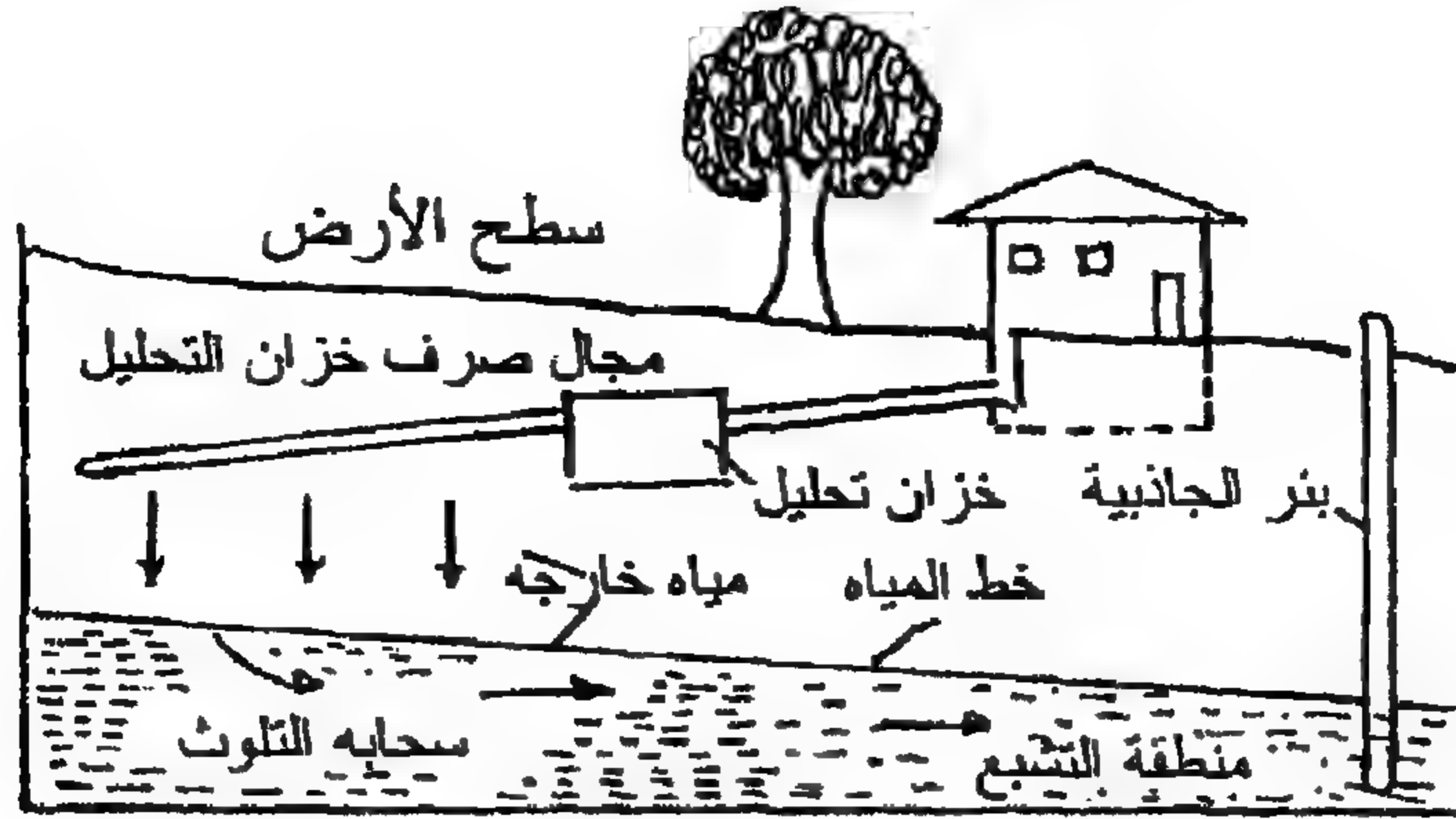
صرف المخلفات الصناعية الكيماوية فى أحواض سطحية مثل حفر الردم الغير مبطنة أو فى البحيرات الضحلة يمثل مصدراً كبيراً لتلوث المياه الجوفية، جزء كبير من المخلفات الصناعية يكون مخلفات خطرة. التخلص من هذه المخلفات السائلة أو الصلبة فى الأرض يتم بذلك الأسلوب لأنه الطريقة الوحيدة الغير مكلفة للتخلص من هذه المواد الغير مطلوبة. ورغم أن هذه الطريقة تبدو أنها البديل الاقتصادى لمعالجة المخلفات، إلا أنها على المدى الطويل تكون مكلفة جداً للمجتمع ككل بالنسبة للمخاطر الصحية وتكاليف أنشطة نظافة هذه الملوثات.

وكثيراً من الخزانات السطحية للتخلص من المخلفات الصناعية ليس لها بطانة عزل عند القاع وهذا يخالف معايير التخلص من المخلفات. السوائل الملوثة التى تتسرب من هذه الخزانات السطحية أو البرك خلال التربة حتى الوصول إلى خزان المياه الجوفية. وهذا موضح فى الشكل (٢/١٤) (السائل من منطقة الردم للمخلفات الصلبة يسمى الغسول - Leachate).



شكل (٢/١٤) مخطط يبين مصدرين لتلوث المياه الجوفية من مخلفات الصرف الصناعي، من التسرب السطحي لبرك الصرف الصناعي أو من الحقن الجوفي العميق لمياه الصرف. الأسهم تبين اتجاه تدفق الملوثات. تبطين قاع بركة الصرف والدراسة الجيولوجية المتقنة للخزان الجوفي المالح يمكن أن تساعد في منع التلوث

والكيماويات العضوية مثل (Polychlorinated Biphenol) والبنزين (C_6H_6) وجدت في المياه الجوفية في كثير من مواقع التخلص السطحي للمخلفات الصناعية. أحد المواد التي وجدت كثيراً هي التراي كلورو إيثيلين وهي هيدروكربون مكلور يستخدم كمذيب ولإزالة الشحوم. وجدت كذلك المعادن الثقيلة مثل السيلينيوم، الزرنيخ، أملاح السيانيد. أحياناً يتم ضخ المخلفات السائلة الصناعية خلال آبار عميقة، في عملية تسمى حقن البئر العميق (Deep Well Injections). وإن كانت هذه الطريقة يمكن أن تكون مقبولة أحياناً وذلك عندما تكون الظروف الجيولوجية مناسبة، ولأن المياه الجوفية عند أعماق أكبر من ٣٠٠ متر عادة تكون مياه مالحة وغير مناسبة للاستخدامات الأخرى. إلا أنه مع الحقن الجوفي العميق فإنه يحتمل حدوث تلوث عرضي لخزانات جوفية هامة لإمدادات المياه، كما هو موضح في الشكل (٢/١٥) لذلك فإن الحقن الجوفي العميق يلزم تقييده تماماً.



شكل (٢/١٥) المياه الجوفية يمكن أن تتلوث من نظم التخلص من مياه الصرف الصحي. الآبار المقامة تحت التيار لمجالات امتصاص مخلفات التحليل تكون معرضة للتلوث.

نظم الصرف تحت السطح للصرف الصحي :

نسبة كبيرة من سكان الريف قليلة من سكان المدن يتم صرف مخلفاتهم الصحية تحت السطح. النظام المتبع في الاستخدام هو خزان التحليل حيث يتم صرف السائل خلال التربة. وقد يستخدم أحياناً خزان التحليل لتخزين المواد الصلبة بينما يتدفق السائل من خزان التحليل خلال شبكة من المواسير المثقبة المدفونة والتي تعمل على نشر السائل خلال مساحة كبيرة من التربة لكي تتسرب ببطء خلال التربة وتتحلل طبيعياً. أحياناً يكون صرف خزانات التحليل من مصادر تلوث الآبار بالبكتيريا الغائطية والفيروسات. كذلك فإن سوائيل نظافة خزانات التحليل التي قد تستخدم أحياناً قد تحتوي على مذيبيات عضوية مثل التراي كلورو إيثيلين، هذه المواد المسرطنة يمكن أن تلوث المياه الجوفية في المنطقة التي يستخدم فيها نظام التحليل. كما أنه توجد ملوثات أخرى من خزانات التحليل يمكن أن تصل إلى المياه الجوفية مثل المنظفات الصناعية، النترات، الكلوريدات والتلوث من نظم التحليل موضح في الشكل (٤/١٥).

حفر الردم للتخلص من المخلفات المنزلية : (Municipal Landfills)

الردم في التربة هو أحد الطرق العادية للتخلص من المخلفات المنزلية، وهذه تعرف بحفر القمامة حيث يتم وضع المخلفات فوق الأرض وفي المناطق المنخفضة من التربة حيث منسوب المياه الجوفية البعيد، وحيث تتوفر أماكن الحفر التي كانت تستغل كمحاجر لاستغلال الرمل والزلط في أعمال البناء - ولكن تسرب المياه سواء كانت موجودة مع

المخلفات أو بفعل سقوط الأمطار خلال هذه المخلفات والتي تكون ذات محتوى عالى من المواد العضوية وأملاح النترات والكلوريدات والمعادن الثقيلة يمكنها بسهولة الوصول إلى الخزانات الجوفية أسفلها واختلاطها بالمياه الجوفية. الطريقة الحديثة لتكنولوجيا التخلص من القمامة (المخلفات الصلبة) يمكن أن تحقق الحماية للمياه الجوفية من التلوث. أماكن التخلص عادة تسمى حفر الردم (Land Fills) وهذه سيتم مناقشتها فى الفصل (٤).

بالاختصار فإن مكان حفر الردم بالنسبة للحالة الجيولوجية واستخدام مواد التبطين والتغطية للقاع هما الطريقتان اللذان بهما يمكن حماية المياه الجوفية من التلوث.

مناجم استغلال الخامات الطبيعية وكذلك عمليات إنتاج البترول :

كثير من مناجم استغلال الثروات المعدنية والفحم تسبب تهديدا لنوعية المياه الجوفية. المياه السطحية التى تتدفق قريبا من موقع الاستغلال يمكن أن تلتقط الأملاح المذابة والمواد الصلبة الأخرى والحموضة والمواد المشعة. ومع تسرب المياه فى التربة إما من الحفر المكشوفة أو فى الإنفاق تحت الأرض فإن المياه يمكنها بسهولة أن تحمل هذه الملوثات إلى الخزانات الجوفية أسفلها. مياه الغسيل للملوثات من أماكن تجميع هذه الخامات والنفايات يمكن أن تكون كذلك مصدرا لتلوث المياه الجوفية.

كثيرا ما يحدث تلوث للمياه الجوفية من أنشطة عمليات إنتاج البترول وحفظه، فالمواد البترولية يمكنها أن تسرى خلال منطقة التهوية وتصل إلى خط المياه الجوفية. حاليا تم تطوير خزانات حفظ المواد البترولية لتكون من الصوف الزجاجى المقاوم للتآكل لإبعاد حالات التسرب هذه.

الإنسكابات العرضية على السطح هى كذلك من مصادر التلوث بالزيت والجازولين للمياه الجوفية. حتى فى حالة التركيزات المنخفضة جداً، فإن هذه المواد تسبب مذاقا ورائحة ملحوظة فى مياه الشرب التى يتم الحصول عليها من الخزانات الجوفية الملوثة. بالإضافة إلى أن الجازولين يحتوى على مادة (Ethylene dibromide) وبنزين، وهذه يحتمل أن تكون مسرطنة للإنسان.

فى بعض الحالات وفى حالة عدم تسرب تلوث البترول إلى مسافة بعيدة، فإنه يمكن أخذ خطوات لتنظيف المياه، المياه الملوثة يمكن ضخها خارج التربة ثم تمريرها خلال جهاز فصل الزيت، ثم حقنها ثانياً فى التربة.

الزراعة :

أكبر ملوثات للمياه الجوفية من الأنشطة الزراعية هي الأسمدة والمبيدات الحشرية. ومن بين الأسمدة النترات والفوسفات وهذه لها علاقة بالآثار الصحية الضارة.

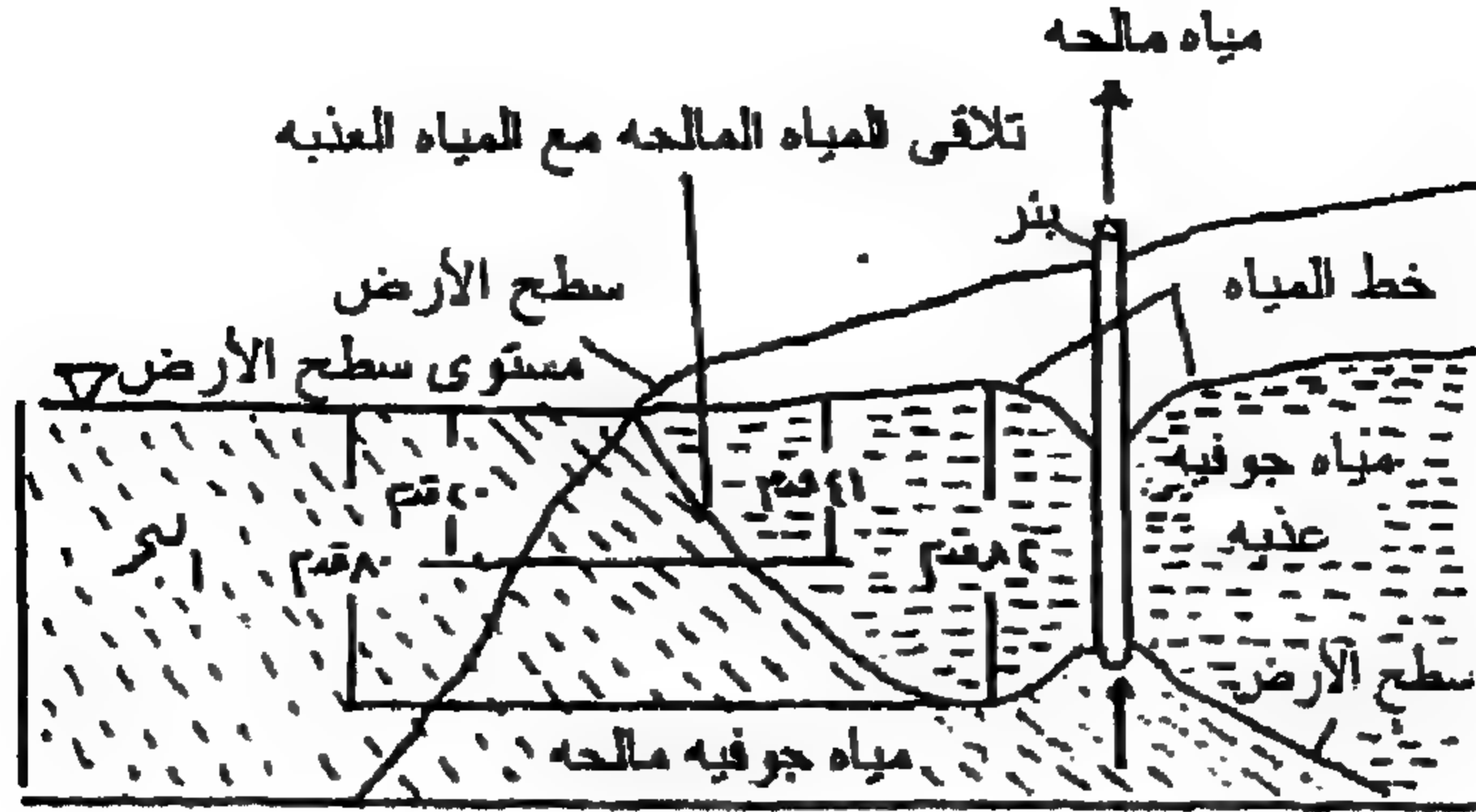
المناطق الحضرية في دول الشمال :

عادة في المدن الحضرية في دول الشمال يتم نشر الملح على الطرق لتصبح خالية من الثلوج أثناء فصل الشتاء، وهذه الأملاح التي تذوب تتحرك فوق الرصف في تدفقات رقيقة حاملة معها كثيراً من الأملاح التي تحمل إلى الخزانات الجوفية أسفلها بما يزيد من تركيز الأملاح المذابة والكلوريدات في المياه الجوفية.

دخول المياه المالحة : (Salt Water Intrusion)

دخول مياه البحر المالحة في الآبار هو من مشاكل تلوث المياه الجوفية في كثير من المدن الساحلية. بسبب زيادة الكثافة السكانية وارتفاع مستوى المعيشة والأنشطة الصناعية وزيادة استخدام المياه الجوفية، وكذلك بسبب انخفاض الشحن الطبيعي لتغذية الخزان الجوفي لوجود الطرق ومناطق الانتظار) لذلك فإن مستوى خط المياه الجوفية أخذ في الانخفاض.

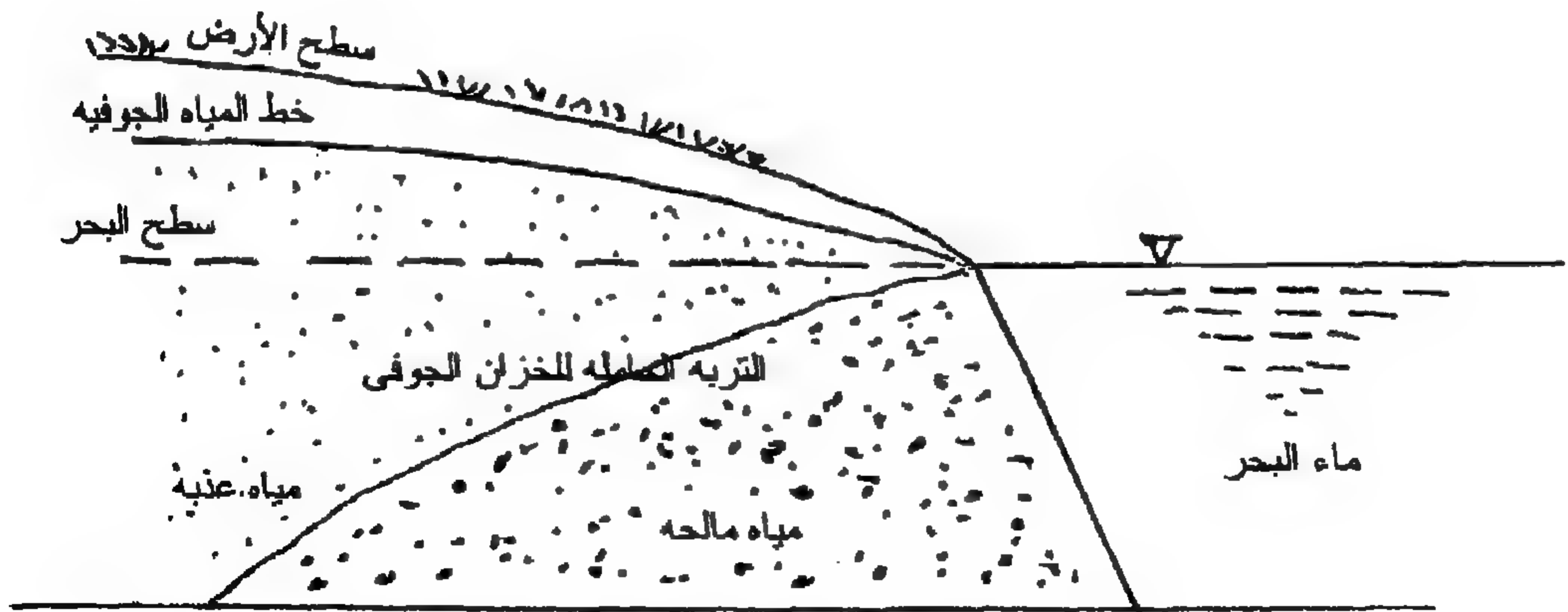
في المناطق الساحلية يوجد تداخل أو حد بين المياه الجوفية العذبة التي تتدفق من المساحات السطحية والمياه المالحة من البحر. نظراً لأن مياه البحر أكثر كثافة عن المياه العذبة بنسبة ٢,٥%، فإن الضغط الرأسي لمياه البحر الذي قدره ٤٠ قدم يكون مكافئاً لضغط رأسي للمياه العذبة قدرة ٤١ قدم ($1/40 = 0.025 = 2.5\%$) نتيجة ذلك، فإن لكل انخفاض في خط المياه قدره قدم واحد فإن حد مياه البحر يرتفع ٤٠ قدم. وهذا موضح في الشكل (٢/١٦). لذلك فإن الآبار التي تضخ الماء المالح بسبب دخول المياه الجوفية يمكن أن تهجر كمصدر لمياه الشرب. بالإضافة إلى المحافظة على الماء فإن الشحن الجوفي للمياه الجوفية بالمياه العذبة التي يتم حجزها في خزانات يمكن أن يكون مؤثراً في الحد من دخول المياه المالحة. سحب المياه العذبة من الخزان الجوفي الساحلي يمكن أن يتم على عمق يساوي ٤٠ ضعف المسافة بين منسوب سطح البحر وخط المياه العذبة (شكل ٢/١٧).



شكل (٢/١٦) تسرب المياه المالحة إلى مناطق آبار المياه

الساحلية مصدر كبير لتلوث المياه الجوفية

التنقية الطبيعية للمياه الجوفية الملوثة بالكيمائيات يمكن أن تستغرق عقوداً وربما قروناً من الزمان، كما أن جهود التنقية تكون أحياناً مكلفة جداً. أفضل طريقة لحماية المياه الجوفية من التلوث هي بمنع وجود هذه الملوثات. القوانين والقرارات المنظمة للتخلص من المخلفات الصلبة والخطرة يمكن أن تقلل من الملوثات. ليس فقط بالحواجر الطبيعية بين المخلفات والمياه الجوفية ولكن يجب إنشاء آبار رصد في بعض الحالات لتوفير التحذير المبكر عن التسربات المحتملة. فمثلاً، يتم الحد من إقامة المنشآت الصناعية والمناطق السكنية المستخدمة لخزانات التحليل وكذلك الحد من استخدام الأسمدة والمبيدات في المناطق الزراعية.



شكل (٢/١٧) منسوب السحب من المياه العذبة بين الخزانات الجوفية الساحلية

هو ٤٠ ضعف المسافة الرأسية بين خط المياه العذبة ومنسوب سطح البحر

٧- تلوث البحار :

مياه البحر هي مياه مالحة طبيعياً، وهي تحتوى على حوالى من ٢,٥ إلى ٤,٥% مواد صلبة مذابة (من ٥٠٠٠ ملجرام / لتر إلى ٤٥٠٠٠ ملجرام / لتر) وهذه النسبة من الملوحة أعلا بكثير عن تركيز إجمالى المواد الصلبة التى تحملها مخلفات الصرف الصحى، ولكن لا تعتبر مياه البحر أنها ملوثة وذلك بسبب ملوحتها الطبيعية. المواد الصلبة المذابة فى مياه البحر هي الأملاح المعدنية وأغلبها هو كلوريد الصوديوم. الملوحة تجعل مياه البحر غير مناسبة للاستخدام عدا فى حالة معالجتها بطرق الإغذاب لإزالة الملوحة.

لهذه الأسباب وكذلك بسبب القدرة الكبيرة على التخفيف التى يمكن أن توفرها مياه البحر فإنه كان هناك ميل طبيعى باعتبار أن البحر هو المستقبل المناسب لكل أنواع المخلفات، وغالباً، فإن كل صرف المخلفات الصحية المعالجة فى المجارى السطحية تجد طريقها نحو البحر. وفى مناطق مصبات الأنهار. يلاحظ أن مياه الصرف المعالجة يتم صرفها مباشرة فى البحر.

برغم الحجم الكبير للبيئة البحرية، فإن الطاقة الطبيعية للخلجان والبحار نحو معالجة المخلفات تكون محدودة. من بين سلبيات تلوث البحار هو تدمير الكائنات البحرية، وخاصة الطحالب التى تنتج الأكسجين فى عملية التمثيل الضوئى وتكون غذاءً للكائنات الأخرى. فى بعض الحالات يتم كسح المواد المسببة لعتامة الماء والمواد الخطرة نحو الشاطئ.

مصبات الأنهار هي منطقة انتقال طبيعية بين مياه الأنهار العذبة ومياه البحار المالحة. وهي كتل مائية شبه محصورة شاملة الخلجان، وفتحة المصب للنهر، والسبخات المالحة نظراً لقربها من الأرض فإنها تكون أول المساحات البحرية لاستقبال المخلفات التى تحملها تدفقات النهر. الخلجان تعتبر أهم البيئات ذات المسببات البيولوجية ولها أهمية خاصة لكل من الكائنات الأرضية والبحرية. فليس فقط التلوث هو التهديد لهذه البيئة الحياتية، إلا أن سوء استخدام الأراضي الذى يسمح باستغلال المساحات الأرضية الرطبة بالأنشطة السكانية والتجارية له دور.

يلى الخلجان، حيث المياه الشاطئية الضحلة نسبياً فى البحر المفتوح والتى تكون حوالى ٧٠% من سطح الأرض. نلاحظ أن البحر المفتوح يعتمد كلياً على الخلجان

للغذاء، والذي ينقل بالتيارات المائية إلى المياه العميقة، للمساعدة في استمرار العمليات الحياتية.

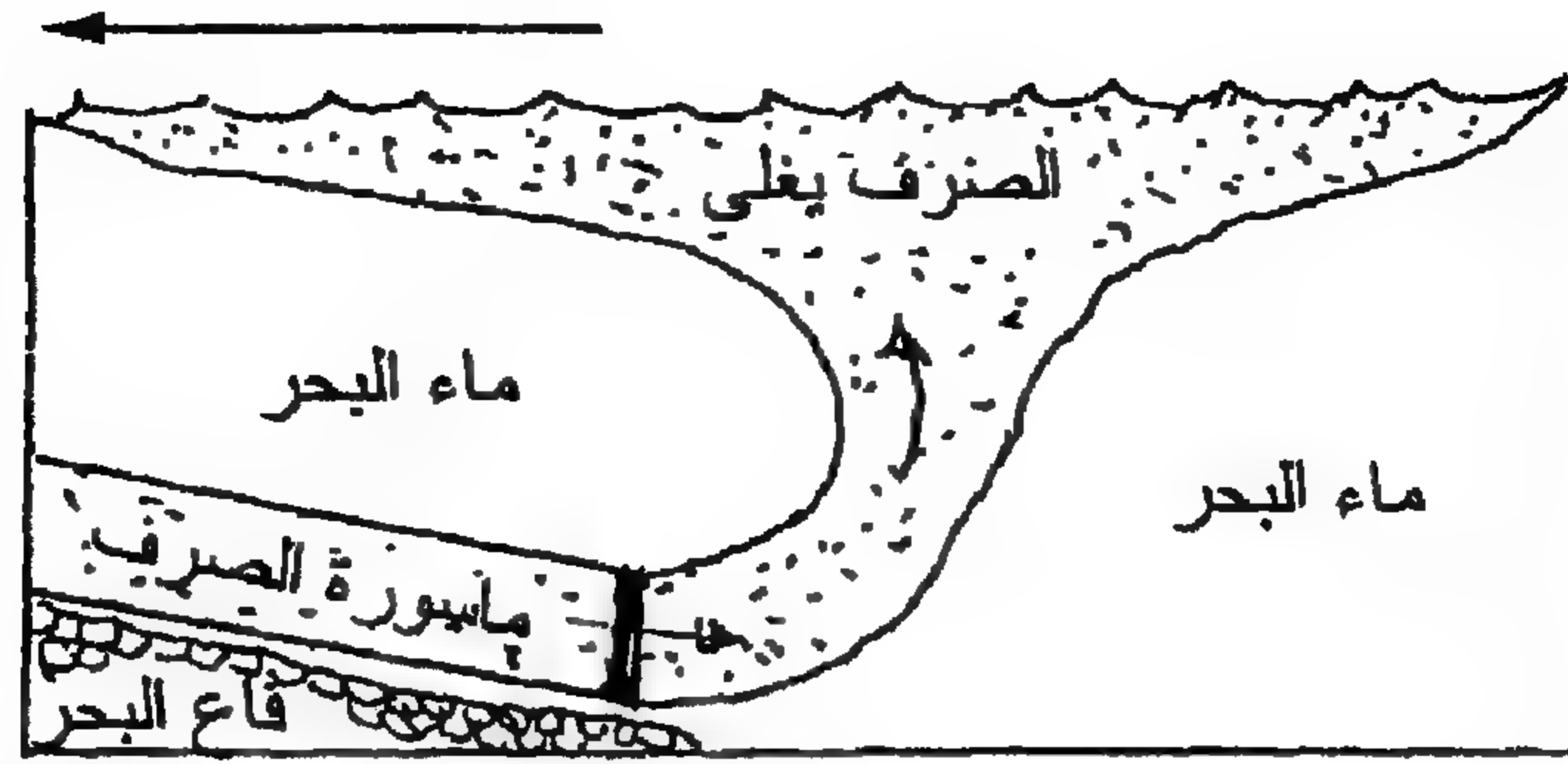
تسرب مياه الصرف الصحي في مياه البحر :

كثير من المدن الساحلية تقوم بصرف مياه الصرف الصحي المعالج في البحر. المواسير التي تحمل مياه الصرف المعالج تسمى (Out Falls) أي السقوط الخارجي. وهذه عادة تكون مواسير ذات حجم ضخم والتي يمكن أن تمتد إلى مسافات بعيدة عن الشاطئ والتي تصل إلى حوالي ١٢ كيلومتراً أو أكثر. وعند خروج مياه الصرف الصحي من مخرج الماسورة، فإنها تكون عاموداً مرتفعاً نظراً لأنها أكثر دفئاً وأقل كثافة عن مياه البحر. وهذا موضح في الشكل (٢/١٨). وعند الوصول إلى السطح فإن عامود الصرف الصحي يكون فقاعة كبيرة أو غليان، والتي تتحرك في اتجاه التيارات السطحية. مع عمل التيارات لهذه الفقاعة من المخلفات الصحية فإنه تتكون سحابة من مياه الصرف المخففة تشبه سحابة الدخان المنبعثة من المدخنة. لسوء الحظ فإن هذه السحابة تحمل أحياناً نحو الشاطئ بما يرفع من عد الكوليفورم قرب مناطق الاستجمام. أحياناً يجب قفل الشواطئ المستخدمة في السباحة بسبب زيادة أعداد الكوليفورم.

تأثيرات صرف مخلفات الصرف الصحي في البحر تتوقف على كيفية الانتشار والتشتت الجيد للمخلفات في البحر عند خروجها من الماسورة. التشتت الكافي للمخلفات يسهل عملية التنقية الطبيعية، ويقلل من تركيزات البكتيريا، بما يقلل من التلوث عند المساحات الشاطئية. معظم مخرج مواسير الصرف حالياً تنشأ بناشرات متعددة (Multiport Diffusers) عند نهاية الصرف لتعظيم كمية الانتشار. هذه الناشرات توزع السوائل على مساحة كبيرة نسبياً من قاع البحر خلال العديد من الفتحات المستديرة. وهذا يوفر درجة كبيرة جداً من الخلط والتخفيف مقارنة بحالة عدم وجود هذه الناشرات عند نهاية ماسورة الصرف. الناشرات تمنع تكون غليان سوائل الصرف كما توفر حماية أكبر للشاطئ.

يتوقف نجاح الناشرات في تنفيذ هذا الغرض على حسابات التصميم الهيدروليكي الحذر والمدقق. من المهم تحقيق تجانس التوزيع للتدقق خلال الموانئ. نموذج لناشر مخرج ماسورة الصرف في البحر موضح في الشكل (٢/١٩) نموذج للأبعاد موضح لمجرد توضيح حجم هذه الإنشاءات.

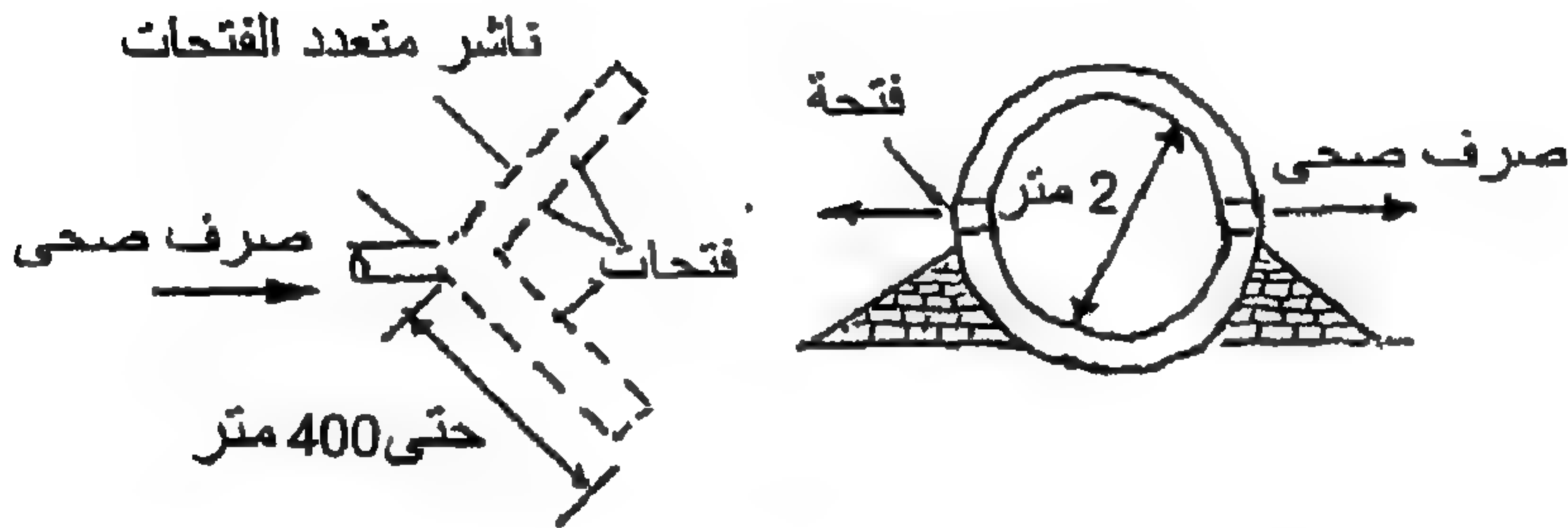
الرياح والمد والجزر يمكن أن تحمل
المياه الملوثة إلى الشاطئ



شكل (٢/١٨) خروج سائل الصرف من الماسورة أسفل قاع البحر

تشكل عاموداً مرتفعاً في مياه البحر بسبب انخفاض كثافته.

يصل العامود إلى السطح في شكل غليان.



شكل (٢/١٩) ناشرات عديدة الفتحات عند نهاية ماسورة الصرف

في البحر تزيد الخلط والتخفيف لمياه الصرف في مياه البحر،

وبذا تمنع حدوث وتكون السحابة

إلقاء حمأة الصرف الصحي في المحيط : (Ocean Dumping of Sludge)

في الماضي، كثير من المدن الساحلية في أمريكا وأوروبا كانت تلقى بحمأة الصرف الصحي في المحيط. فمثلاً مدينة نيويورك ولمدة ٦٠ عاماً استخدمت مواقع لإلقاء حمأة الصرف في المحيط الأطلنطي. كانت هذه المواقع على مساحة حوالي ٢٠ كيلومتراً بعيداً عن الشاطئ وكانت بعمق حوالي ٢٥ متراً فقط وعلى مساحة حوالي ٣٦ كيلومتراً مربعاً، وإن كانت كمية إلقاء الحمأة انخفضت في عام ١٩٨٤ إلى حوالي ٨ مليون طن فقط. وقد وجد أن هذه المساحة من المحيط بها مستوى عالي من البكتيريا وكذلك الحياة البحرية الطبيعية معدومة تماماً وأحياناً كانت تيارات المحيط تحمل الحمأة نحو الشاطئ.

في عام ١٩٨٥ قررت وكالة حماية البيئة (EPA) أن يتم التخلص من الحمأة على مساحة حوالي ١٧٥ كيلومتراً من الشاطئ وعلى مساحة حوالي ٢٥٠ كيلومتراً مربعاً وعلى عمق ٢٥٠٠ متراً، حيث استمر هذا الوضع حتى عام ١٩٩٢، ثم تم إيقاف إلقاء المخلفات كلية في البحر، وتم نقل هذه المخلفات بالسكك الحديدية إلى أماكن بعيدة (تكساس) لحين بناء نظم تحويل الحمأة إلى مواد سمادية طبيعية.

انسكابات الزيت : (Oil Spills)

الانسكابات الغير متعمدة للزيت يمكن أن تسبب تلوث شديد لمياه البحر. يمكن دخول الزيت إلى مياه البحر أساساً من انسكابات السفن ناقلات البترول أو من التدفقات الخارجة من الآبار البحرية. انسكابات الزيت يمكن أن تسبب موت الطيور التي تعيش على سطح الماء وتغطس لتحصل على غذائها. ملوثات الزيت عادة تدفع نحو الأرض بفعل عوامل الرياح والمد والجزر. تلوث الزيت على الشاطئ ضار لكل أشكال الأحياء المائية ويعيق الاستخدامات الترويحية والسياحة للمساحات الشاطئية. في بعض الحالات يمكن استخدام حواجز طبيعية للحد من انتشار طبقة الزيت، وكذلك الوسائل الميكانيكية لجمع الزيت المسكوب مع درجات مختلفة من التأثيرات. المنظفات الصناعية يمكن استخدامها لتكسير طبقة الزيت ولكن هذه المنظفات الصناعية يمكن أن تكون سامة للأحياء البحرية.

أفضل طريقة للحد من الانسكابات للزيت هو بالمنع من المنبع، حيث يلزم توفير التصميمات المدققة لناقلات الزيت لخفض الانسكابات. وبالمثل الإجراءات الحازمة لتأمين والتصريح والكشف ورصد عمليات الحفر داخل البحر يمكن أن تحقق حماية البيئة البحرية.

٨- معايير نوعية المياه : (Water Quality Standards)

في المناطق السكنية والصناعية في أيامنا هذه، يكون من الضروري وضع قوانين ملزمة لحماية نوعية المياه. للمحافظة على نظافة المياه للاستخدامات المختلفة التي تحتاجها المجتمعات فإن ذلك يتطلب جهوداً ضخمة واستثمارات كبيرة. وبدون إطار قانوني لتفعيل المعايير القياسية لنوعية المياه فإن نوعية البيئة والصحة العامة سوف تكون في خطر دائم.

المعايير القياسية لنوعية المياه هي حدود الملوثات المسموح بها في الماء لاستخدامات معينة سواء كانت هذه الملوثات طبيعية أو كيميائية أو بيولوجية. توجد ثلاثة أنواع من المعايير القياسية لنوعية المياه، وهي :

الفصل الثاني

معايير المجارى المائية، ومعايير مياه الصرف، ومعايير مياه الشرب. العلاقة بين هذه المعايير الثلاثة موضحة في المخطط الشكل (٢/٢٠).

وهذه معاً تقوى بعضها بعضاً وتعطى كل أساسيات الحماية الكلية للصحة العامة ونوعية البيئة. في هذا الفصل سيتم مناقشة معايير المجرى المائي وبالنسبة لمعايير مياه الشرب وصرف المخلفات سيتم تناولهما في الفصل السابع (الملاحق).

المعايير القياسية للمجرى المائي :

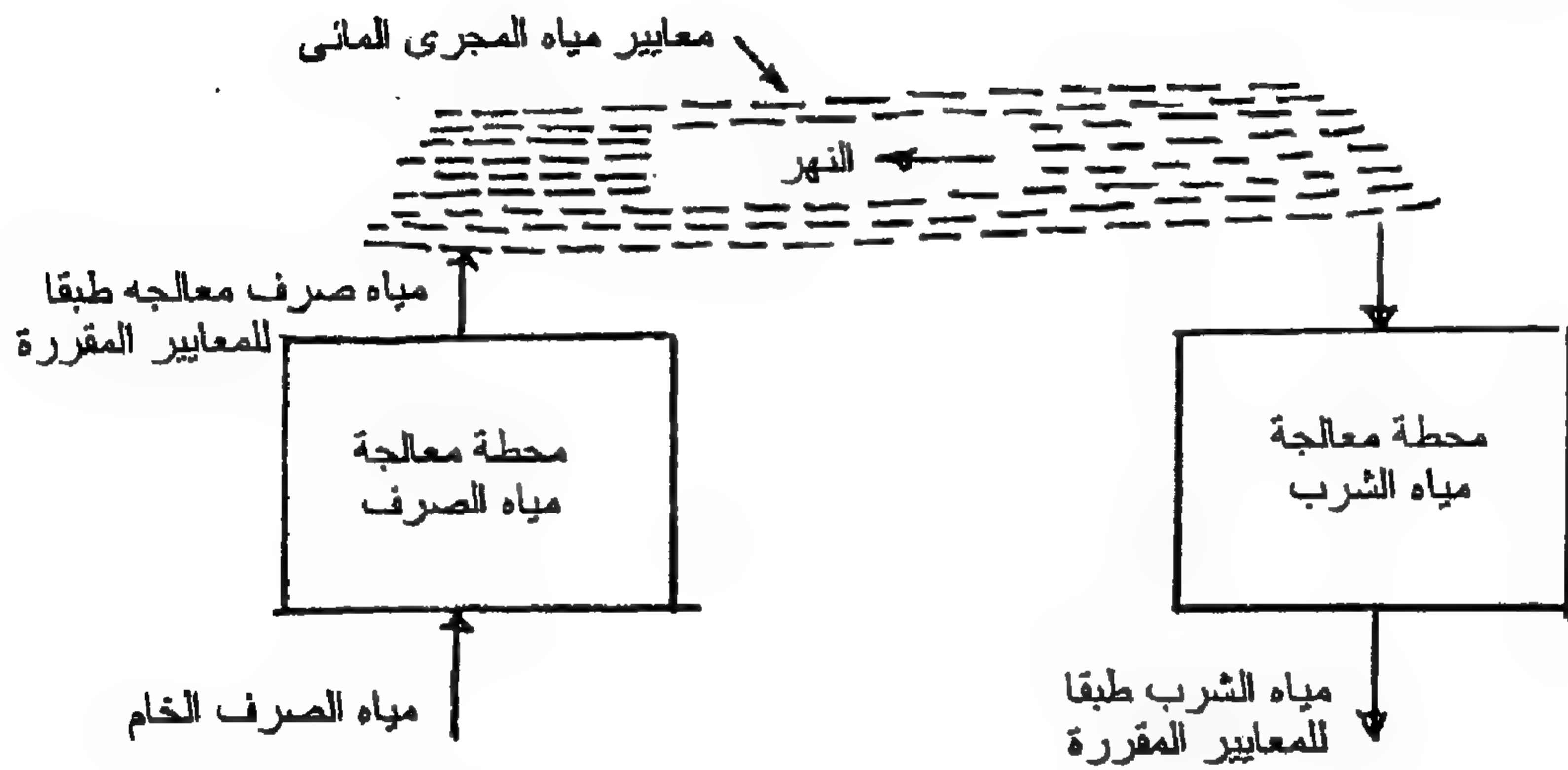
عموماً توجد أربعة مستويات من تقسيمات نوعية المياه وهى كالاتى :

الوصف	
المياه المناسبة للاتصاق عند الاستحمام (السباحة..الخ).	A
المياه المناسبة لاستمرار برنامج صيد الأسماك والكائنات البحرية وذات الدرجة الثانية من الالتصاق للاستحمام.	B
المياه المناسبة للإمدادات المياه المنزلية بعد المعالجة والتقية.	C
المياه المناسبة للاستخدامات الزراعية والصناعية.	D

معايير نوعية المياه الحقيقية لأنواع مختلف الاستخدامات عادة تشمل الحدود المسموح بها للأكسجين المذاب، الكوليفورم، المواد الصلبة، العكارة، الرقم الهيدروجيني، والمخلفات السامة. فمثلاً، أدنى أكسجين مذاب ٥ ملجرام/ لتر يناسب استمرار حياة الأسماك، ولكن أدنى أكسجين مذاب ٣ ملجرام/ لتر قد يكون مطلوباً لمياه التقسيم (D). المجارى المائية التى يلزم حمايتها لتكون مجالاً جيداً لعيش أسماك السلمون يلزمها أكسجين مذاب لا يقل عن ٨ ملجرام/لتر.

معايير الكوليفورم للتقسيم (A) يمكن أن تكون ٢٠٠ كوليفورم غائطى فى ١٠٠سم ٥٣ فى حالة المياه السطحية المستخدمة لإمدادات المياه يمكن أن يكون مستوى الكوليفورم الغائطى حتى ٢٠٠٠ فى ١٠٠سم ٣، عشرة أضعاف المستوى فى مياه الاستحمام. يجب ملاحظة أن هذه المعايير هى للمياه العكرة أو الخام الغير معالجة. وأن المياه السطحية يلزم معالجتها قبل الاستهلاك، كما أن محطات معالجة المياه يمكنها خفض المحتوى من الكوليفورم إلى أقل من واحد كوليفورم فى ١٠٠سم ٣، حتى لو كانت المياه تحتوى أصلاً على ٢٠٠٠ فى كل ١٠٠سم ٣.

على الجانب الآخر فإن السباحين عادة لا يقومون بشرب الماء بكميات كبيرة، حتى عند مستوى ٢٠٠ كوليفورم في ١٠٠ سم^٢ فإن احتمال انتقال المرض يكون ضعيفاً جداً. المستويات المتوسطة من الكوليفورم تكون مقبولة في مياه الالتصاق الأولى للاستحمام. من الطبيعي أن يكون المصدر محتواه من الكوليفورم أقل ما يمكن وذلك لعدم زيادة الحمل على عمليات المعالجة. وأن ما يهدد نوعية المياه هو مخلفات الصرف الصحي والصرف الصناعي ومياه الصرف الزراعي المحملة بالمبيدات والأسمدة وما تحمله مياه الرش والرياح من أتربة ومواد التربة الطينية.



شكل (٢/٢٠) معايير نوعية المياه الثلاثة

الفصل الثالث

الهيدرولوجي وحصد مياه الأمطار والسيول

الهيدرولوجي هو فرع من علوم الأرض المتعلقة بتوزيع وحركة المياه على سطح الأرض وتحت سطح الأرض. علم الهيدرولوجي له أهمية كبيرة في تكنولوجيا البيئة لأسباب كثيرة. الحالات الهيدرولوجية المتباعدة (Extreme) مثل حالة الجفاف حيث لا تتوفر المياه المطلوبة وحالة الفيض حيث المياه بوفرة كثيرة في المكان الغير مناسب، وهما من الحالات المعروفة المسببة للمشاكل البيئية. ولكن الجفاف والفيض ليسا فقط الاعتبار الهيدرولوجية الهامة. وعموماً، يجب تقدير وجود وكمية المياه وذلك للتخطيط والتصميم لنظم الإمداد بالمياه والحماية من التلوث وطرق إدارة وحصد مياه الأمطار والسيول.

١- توفر المياه واستخداماتها :

الماء كما هو معروف أساسى لاستمرار الحياة. ويعتمد الإنسان على المياه بالإضافة للشرب والاستخدام المنزلى، حيث تستخدم كميات كبيرة فى المجالات الصناعية والزراعية، توليد الطاقة، المزارع السمكية والنقل.

استخدام المياه يعنى به سحب المياه من مصدرها والذي يمكن أن يكون نهر أو بحيرة أو بئر ونقل هذه المياه إلى مكان معين. فمثلاً المياه المستخدمة فى أغراض التبريد فى محطة توليد الطاقة يمكن سحبها من مجرى مائى قريب، حيث تمر خلال محطة توليد الطاقة، ثم تصرف ثانياً فى المجرى المائى بدون الفقد فى كمياتها. (يتم تبريد المياه قبل صرفها لمنع حدوث التلوث الحرارى). من أمثلة الاستخدامات للمياه هى عملية النقل والاستجمام. لذلك فإنه يلزم التفرقة بين استخدامات المياه واستهلاك المياه، حيث أن المياه المستخدمة فى الشرب أو التى تتحد مع أحد المنتجات والتى لا يمكن إعادة استخدامها مباشرة هى المياه المستهلكة.

والمياه توجد بكميات وفيرة فوق سطح الأرض وتحت سطح الأرض، ولكن أقل من ١% فقط من هذه المياه هو المتاح للاستخدام الاقتصادى للمتطلبات التى سبق ذكرها، ذلك لأن معظم المياه هى إما مياه مالحة أو مياه متجمدة فى الجبال الجليدية.

وكثير من المياه العذبة فى الأنهار والبحيرات يحدث بها تلوث كبير حيث أصبحت غير مناسبة للاستخدام فى إمدادات المياه للشرب والاستخدام المنزلى.

توزيع المياه :

بالإضافة إلى محدودية المياه فإنه توجد مشكلة أساسية أخرى فى مجال إدارة الموارد المائية وهى أن المياه ليست موزعة جغرافيا بانتظام. فى بعض المناطق توجد المياه الصالحة للاستخدام بوفرة نتيجة غزارة الأمطار والبرد، والندى، حيث يكون المتاح للاستخدام من هذه المياه هو الثلث فى المتوسط والذى يذهب إلى الأنهار والبحيرات والخزانات الجوفية. ولكن تتدر المياه، حيث يقل هطول الأمطار.

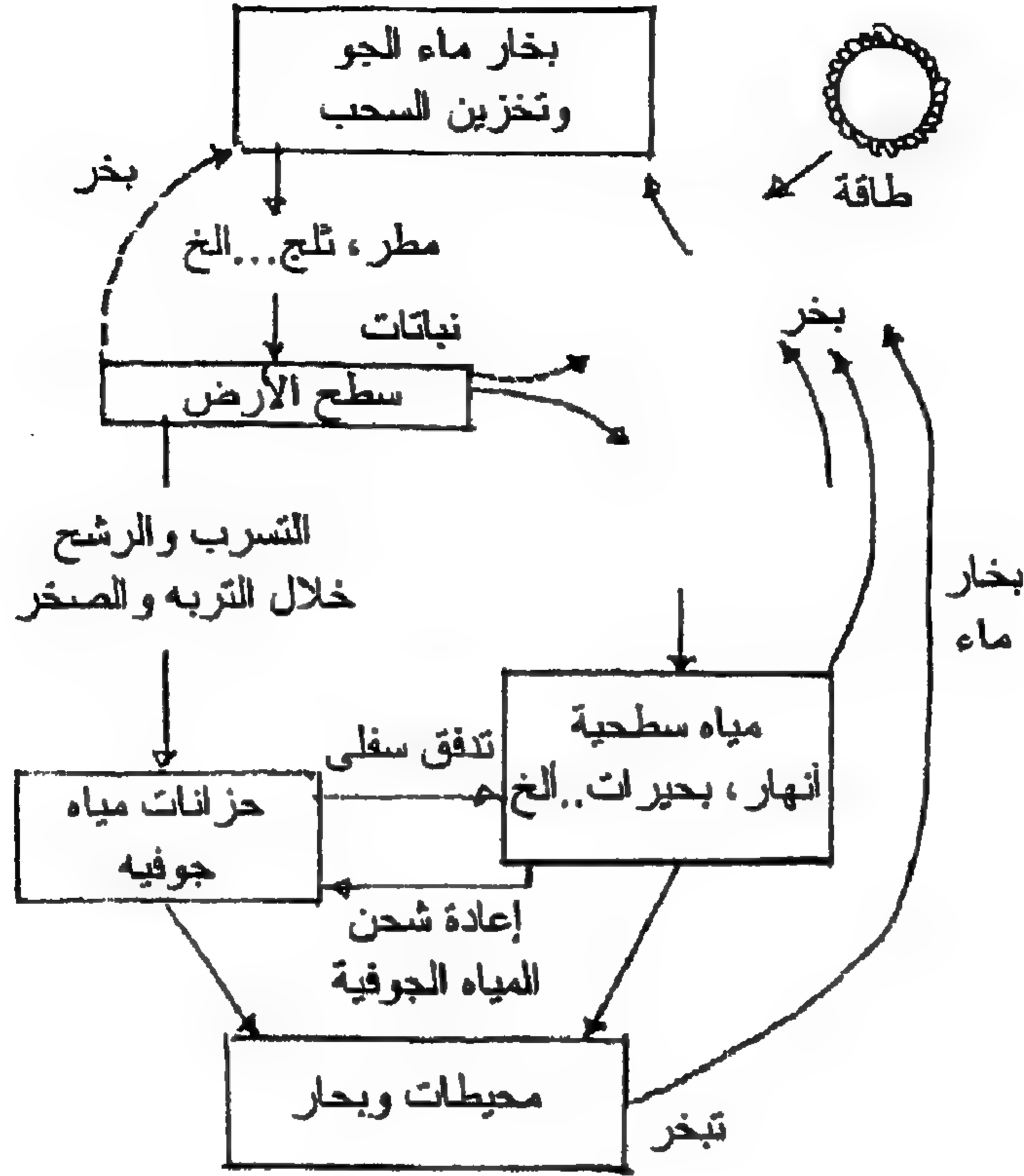
وكمية سقوط الأمطار ووفرة المياه يمكن أن تختلف كثيراً حتى فى المساحة الصغيرة. التوزيع الغير متجانس للمياه من مكان جغرافى معين إلى مكان آخر هو أحد مشاكل إدارة الموارد المائية. كذلك فإن حدوث الجفاف وتوفر المياه يتغير من وقت إلى آخر. فى أى مكان معين قد تكون هناك فترات زمنية ذات مستوى منخفض من سقوط الأمطار أو حدوث حالة الجفاف. حيث تكون النتيجة ندرة حادة فى المياه حيث اللجوء لاستخدام المتاح من المياه فى الخزانات أثناء هذه الفترات.

وعلى الجانب الآخر فإن نفس المنطقة يمكن أن يزداد فيها سقوط الأمطار بغزارة، والذى ينتج عنه مشاكل فيضان خطيرة والتى قد يصاحبها فقد فى الأرواح والممتلكات بالإضافة إلى التلوث البيئى. ولذلك فإنه فى أى مكان معين يمكن أن يكون هناك مياه كثيرة جداً أو قليلة جداً طبقاً للظروف المناخية الطبيعية.

٢- الدورة الهيدرولوجية : (Hydrologic Cycle)

المياه فى حركة مستمرة على وأسفل وفوق سطح الأرض. حتى فيما يبدو أنها مياه راكدة (كما فى البرك) فإن الماء يتبخر حيث يتحول إلى البخار ويتحرك فى الغلاف الجوى. بسبب الطاقة المكتسبة من الشمس وطاقة الجاذبية فإنه يوجد دائماً دوران مستمر للماء ولبخار الماء. هذه العملية الطبيعية تسمى الدورة الهيدرولوجية، وهى موضحة فى شكل تخطيطى فى الشكل (٣/١) رغم أن الدورة الهيدرولوجية تبدو بسيطة، إلا أنه هناك الكثير نحوها أكثر مما تقع عليه العين. علماء الهيدرولوجى قاموا بدراسات معقدة فى مجال الإحصاء والرياضيات العالية بهدف أساسى وهو قياس وتحليل العلاقات التى تتحكم

في شكل وكمية وتوزيع المياه. عند تفهم هذه العلاقات، فإنه يمكن تفهم التنبؤات المحتملة المتعلقة بما يحدث من أمطار أو جفاف.



شكل (٣/١) مخطط للدورة الهيدرولوجية الطبيعية.

الدوران المستمر للماء يكون بفعل طاقة الشمس والجاذبية.

تحدث الأمطار عند برودة (بخار الماء) الرطوبة الجوية وتكتفها في شكل نقاط من الماء. هذه الترسيبات من مياه الأمطار يمكن أن تسلك ثلاث طرق مختلفة بعد وصولها إلى الأرض. بعض منها يمكن أن يحتجز بالزراعات أو بعض المنخفضات السطحية. بمعنى آخر فإنها تلتصق مؤقتاً على أسطح الأوراق والحشائش أو تحتجز في البرك. والبعض الآخر يتسرب إلى جوف الأرض من خلال سطح التربة. الجزء الأخير من الماء يمكن أن يتدفق فوق سطح الأرض. القياس والتوقعات للكميات النسبية من الماء التي تتبع أي من هذه الطرق أو المسارات يعتبر من المسائل الهامة في علم الهيدرولوجي.

بعض المياه التي يتم اعتراضها تتبخر في الحال وبعضها تمتصه النباتات، في عملية تسمى النتح أو الإرتشاح (Transpiration) عند استخدام المياه بواسطة النبات ومروره

خلال الأوراق للحشائش والنباتات والأشجار وعودته إلى الجو في صورة بخار. العملية المشتركة للبخر والنتح تسمى (Evapotranspiration). عموماً أكثر من نصف ترسيبات الأمطار التي تصل إلى الأرض تعود إلى الجو ثانية بهذه العملية قبل الوصول إلى البحار والمحيطات.

التدفق السطحي يحدث عندما يزداد معدل هطول المطر عن المعدلات المشتركة لكل من التسرب داخل التربة والعملية المشتركة للبخر والنتح. طبيعى فإن التدفق على سطح الأرض يجد طريقه إلى قنوات المجارى المائية، الأنهار، البحيرات، وأخيراً إلى البحار والمحيطات، حيث تعتبر الأنهار والمحيطات هي نهاية المطاف لتدفقات المياه، كما سبق توضيحه حيث يصل حوالى ثلث الأمطار السنوية إلى المجارى المائية والأنهار، ولكن هذا يختلف من منطقة إلى أخرى.

المياه التي تتسرب من سطح التربة تستمر في التسرب خلال التربة المشبعة وطبقات الصخر المسامى، مكونة خزانات ضخمة للمياه الجوفية. الخزان الجوفى ليس بحيرة تحت الأرض، حيث الماء يملأ المسام الصغيرة أو الفراغات بين حبيبات التربة والشقوق فى الصخر وهذا الذى يسمى الخزان الجوفى (Aquifer). المياه الجوفية يمكن بعد ذلك أن تتسرب إلى أعلا على سطح الأرض فى العيون أو فى المجارى المائية (تدفق المياه الجوفية نحو المجارى المائية يعرف بتدفق القاعدة (Base Flow) والذى يمكن أن يكون المصدر الوحيد لتدفق المصدر أثناء فترات الجفاف). طبيعى تجد المياه الجوفية طريقها نحو البحار والمحيطات إما مباشرة أو من خلال المجارى السطحية. البخر من أسطح البحار والمحيطات يزيد من بخار الماء فى الجو بدرجة كبيرة، حيث تحمل الرياح الهواء المحمل بالبخر فوق الأرض، وتستمر الدورة الهيدرولوجية.

الدورة الهيدرولوجية الحضرية (Urban Hydroglogical Cycle) شكل (٣/٢) فى المجتمعات يوجد تدوير مستمر للمياه، حيث تسحب المياه من مصادرها فى الدورة الهيدرولوجية الطبيعية - من المياه السطحية أو من المياه الجوفية حيث تضخ إلى نظم المعالجة والتوزيع. بعد الاستخدام، يتم تجميع مياه الصرف فى شبكة الصرف حيث تعالج لخفض تأثير الملوثات ثم الصرف ثانياً على المسطحات المائية أو فى الخزان الجوفى.

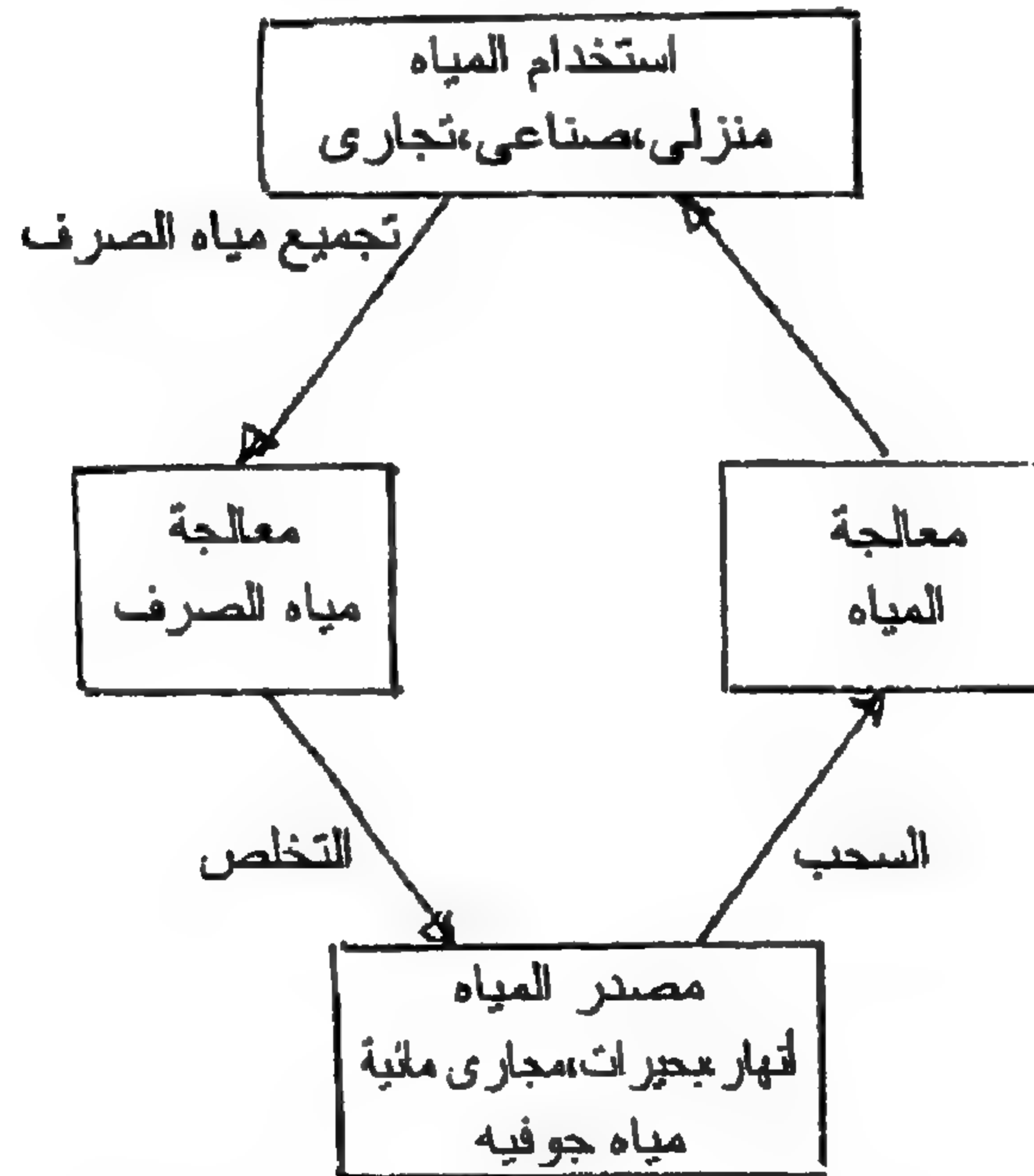
٣- سقوط الأمطار :

الماء فى المجارى المائية والبحيرات وكذلك المياه الجوفية هو باقى الترسيبات. إنه من المهم والضرورى التعرف على بيانات سقوط الأمطار وتسجيلها وذلك لتقدير كمية

الماء التي سوف تكون فوق سطح الأرض أو أسفل سطح الأرض. عوامل أخرى مثل طبوغرافية الأرض واستعمالات الأراضي لها دور في العلاقة بين سقوط الأمطار وتوفير المياه.

العمق، الحجم، الكثافة: (Depth, Volume, Intensity).

تجميع بيانات سقوط الأمطار هو مسئولية مصلحة الأرصاد الجوية حيث تتوفر محطات قياس الأمطار خلال حدود الدولة. يعبر عن كميات سقوط الأمطار بعمق المياه المترجمة في مقياس الأمطار أثناء سقوطها. يمكن التعبير عن الوحدات بالمليمترات أو بالبوصات. إنه عادة يكون من الضروري حساب متوسطات الأوزان لكميات سقوط المطر على إقليم معين باستخدام البيانات من عدة قياسات للأمطار (Rain Gauges). هذه البيانات يمكن وزنها بالنسبة للمساحة التي يغطيها كل قياس.



شكل (٣/٢) الدورة الهيدرولوجية في المجتمع الحضري

أحيانا يكون من الضروري حساب الحجم الكلي للمياه التي تسقط على مساحة أثناء عاصفة سقوط الأمطار. يتم حساب الحجم بضرب المساحة الكلية للأرض بعمق سقوط الأمطار، كالاتي :

$$\text{الحجم} = \text{العمق} \times \text{المساحة}.$$

في الوحدات المترية يعبر عن الحجم عادة بالمتر المكعب، ولكن عمق سقوط الأمطار يعبر عنه بالمليمترات، لذلك فإن المساحة يجب تحويلها إلى الأمتار المربعة وعمق سقوط الأمطار يتم تحويله إلى الأمتار. المساحات الكبيرة نسبياً التي يعبر عنها بالهكتارات يجب تحويلها أولاً إلى الأمتار الكلية.

مثال :

أثناء سقوط الأمطار لمدة ٢٠ دقيقة، كان عمق سقوط الأمطار الذي يتم تسجيله هو ٢٥ مليمتر على مساحة ٢,٥ هكتار، احسب الحجم الكلي للماء الذي سقط على هذه المساحة أثناء عاصفة سقوط الأمطار.

الحل :

يتم أولاً تحويل أعماق سقوط الأمطار من المليمترات إلى الأمتار

$$٢٥ \text{ مليمتر} \times \frac{١ \text{ متر}}{١٠٠٠ \text{ مليمتر}} = ٠,٠٢٥ \text{ متر}$$

ثم تحويل الهكتارات إلى أمتار مربعة.

$$٢,٥ \text{ هكتار} = ٢,٥ \times ١٠٠٠٠ = ٢٥٠٠٠ \text{ متر مربع.}$$

باستخدام المعادلة الحجم = المساحة × العمق.

$$\therefore \text{الحجم} = ٢٥٠٠٠ \text{ م} \times ٠,٠٢٥ \text{ متر} = ٦٢٥ \text{ متر مكعب.}$$

$$= \text{حوالي } ٦٣٠ \text{ م}^٣.$$

عادة الأكثر أهمية عن الحجم الكلي للأمطار هو المعدل الذي تسقط به الأمطار، والذي يسمى كثافة سقوط الأمطار (Rain Fall Intensity). كثافة سقوط الأمطار يعبر عنها بالعمق في وحدة الزمن مثل بوصة في الساعة، مليمتر في الدقيقة أو مليمتر في الساعة. مصلحة الأرصاد الجوية تجمع هذا النوع من البيانات باستخدام أجهزة تسجيل المطر الآلية التي تسجل الفترة الزمنية لسقوط الأمطار وكذلك العمق. التسجيل المستمر لكمية سقوط الأمطار وكثافتها يتم توقيعه على أسطوانة دوارة. يلاحظ عادة أن فترات هطول المطر القصيرة تكون ذات كثافة سقوط أعلى مقارنة بفترة السقوط الطويلة.

مثال :

من المثال السابق احسب كثافة سقوط الأمطار.

الحل :

في حالة استمرار الأمطار لمدة ٢٠ دقيقة، فإنه يمكن حساب كثافتها بالمليمتري في الساعة.

$$\text{الكثافة} = \frac{٢٥ \text{ مليمتري}}{٢٠ \text{ دقيقة}} \times \frac{٦٠ \text{ دقيقة}}{\text{ساعة}} = ٧٥ \text{ مليمتري في الساعة}$$

تستخدم وحدات القدم المكعب الأمريكية للحجم، ولكن في التطبيقات الهيدرولوجية فإن الأحجام الضخمة من المياه يعبر عنها عادة بالفدان = قدم (Acre-Ft). وهو كما هو موضح في الشكل (٣/٣) أنه الحجم المطلوب لتغطية فدان من الأرض بعمق ١ قدم. نظراً لأن الفدان يساوي (الفدان يساوي ٤٨٤٠ ياردة مربعة أو ٠,٤٠٤٦ من الهكتار) ٤٣٥٦٠ قدم مربع × واحد قدم أو ٤٣٥٦٠ قدم كعب (٣٢٩٥٠ جالون).

مثال :

أثناء عاصفة سقوط الأمطار كان سمك سقوط الأمطار ٤ بوصة على مساحة ١٢٠ فدان. الفترة الزمنية للعاصفة كانت ٨ ساعة. ماذا كان متوسط سقوط الأمطار؟ عين الحجم الكلي لسقوط الأمطار على المساحة في ٨ ساعات. عبر عن الحل بالفدان - قدم وبالقدم المكعب.

الحل :

يتم تعيين الكثافة المتوسطة بقسمة العمق الكلي للأمطار على الفترة الزمنية لسقوط الأمطار كالآتي :

$$\text{الكثافة} = \frac{٤ \text{ بوصة}}{٨ \text{ ساعة}} = ٠,٥ \text{ بوصة في الساعة}$$

العمق يتم التعبير عنه بالقدم. يمكن عمل الحساب كالآتي :

$$\text{الحجم} = ١٢٠ \text{ فدان} \times ٤ \text{ بوصة} \times ١ \text{ قدم} / ١٢ \text{ بوصة}.$$

$$= ٤٠ \text{ فدان} - \text{قدم}.$$

للتحويل من فدان - قدم إلى قدم مكعب يستخدم

$$\text{الحجم} = ٤٠ \text{ فدان} - \text{قدم} \times ٤٣٥٦٠ \text{ قدم مكعب/ فدان} - \text{قدم}$$

$$= ١٧٠٠٠٠٠ \text{ قدم مكعب}.$$



شكل (٣/٣) فدان واحد - قدم من الماء يعادل الحجم الذي يغطي مساحة فدان من الأرض

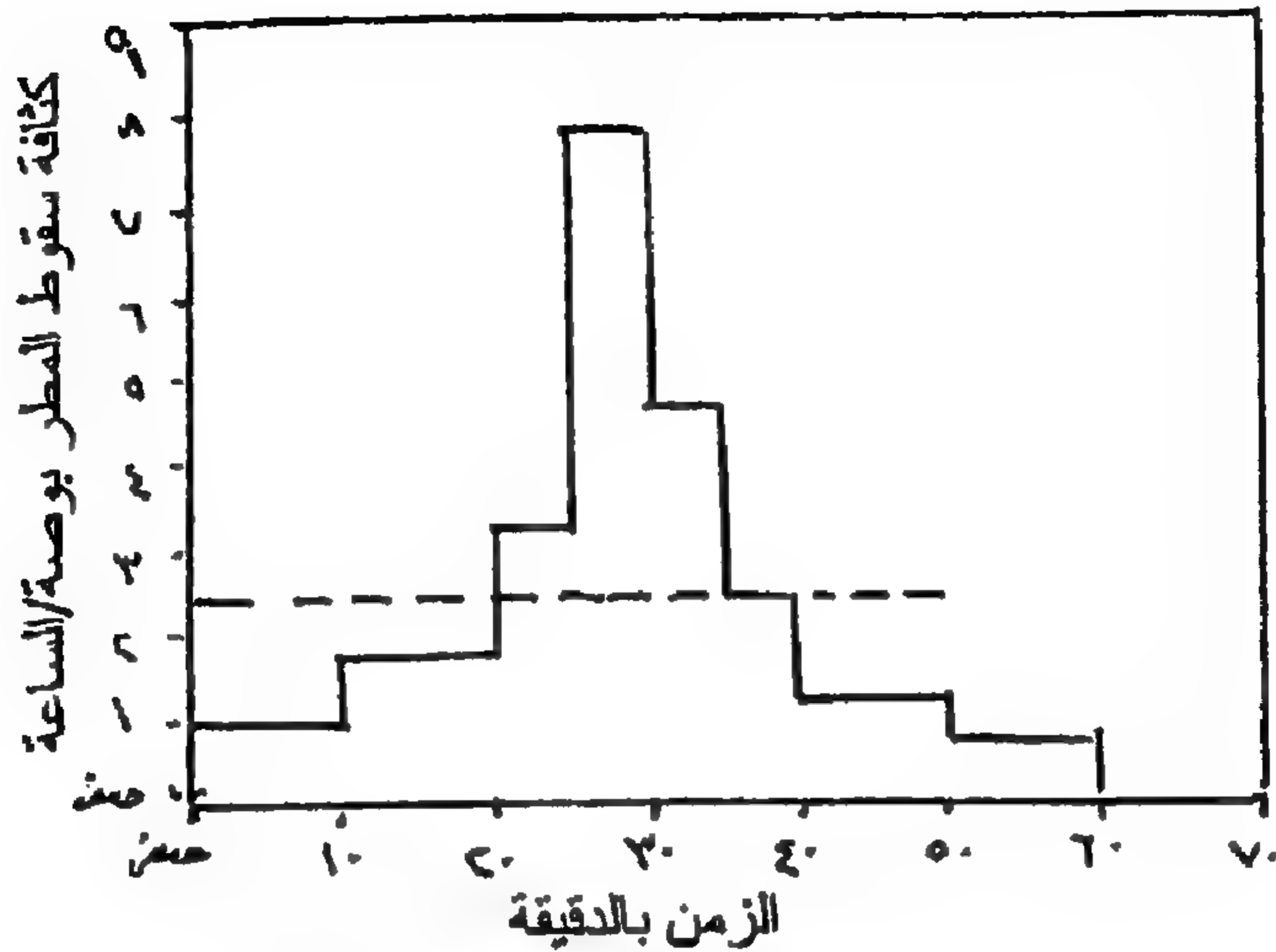
وبعمق واحد قدم أو ٤٣٥٦٠ قدم مكعب.

ومن المهم اعتبار أن كثافة سقوط الأمطار ليست مستمرة خلال فترة السقوط، رغم أن متوسط الكثافة هو رقم مفيد جداً في كثير من المسائل الهيدروليكية وتطبيقاتها. في بعض التحاليل الهيدروليكية يكون من الضروري الحصول على معلومات تفصيلية أكثر عن كثافة سقوط الأمطار. هذه البيانات يمكن توقيها على المخطط الذي يوضح كثافة سقوط الأمطار (أو الحجم) مقابل الوقت. مثال لهذا المخطط موضح في الشكل (٣/٤). لاحظ أن متوسط كثافة سقوط الأمطار خلال فترة زمنية ٦٠ دقيقة هو حوالي ٢,٢ بوصة/الساعة، بينما ذروة الكثافة هي ٨ بوصة/الساعة.

فترة التكرار : (Recurrence Interval)

أظهرت الخبرة العادية أن الحالات الهيدرولوجية مثل سقوط الأمطار لا تحدث بساى نظام محدد، حيث حدوث الأمطار وكثافتها وفترة استمرارها هي حالات طبيعية عشوائية. لنفترض مثلاً حالة الأمطار في المثال رقم (١) والتي سقطت بسمك ٢٥ ملليمتر لمدة ٢٠ دقيقة. فبالرغم من الطبيعة العشوائية لحالات حدوث المطر، إلا أنه يمكن تعيين متوسط تكرار الحدوث للعواصف الممطرة ذات الكثافة والفترة الزمنية المحددة. سيكون من المناسب إذا كان التاريخ المضبوط الذي سوف تحدث فيه عاصفة سقوط أمطار مشابهة في المستقبل يمكن التنبؤ بها، ولكن من الواضح أن هذا مستحيل. فمثلاً، حتى في حالة عدم إمكان تعيين تاريخ العاصفة الثانية ٢٠ دقيقة - ٢٥ ملليمتر مقدماً، إلا أنه من الممكن

النتيـجـة بعدد الحالات التي من المتوقع أن تحدث فيها عواصف ممطرة مشابهة خلال العام القادم أو خلال عدة سنوات. هذا بالإضافة، إلى التنبؤ باحتمالات ملاحظة تلك العاصفة ثانياً في أي فترة زمنية.



شكل (٣/٤) مثال لكثافة سقوط الأمطار مقابل الوقت

باختبار تسجيلات سقوط الأمطار لسنوات كثيرة واستخدام التحاليل الإحصائية، فإنه يمكن تعيين متوسط عدد السنين بين العواصف الممطرة ذات الكثافة المحددة وفترة الاستمرار المحددة. هذا الفاصل الزمني بين العواصف المطرية المشابهة يسمى فترة التكرار أو عودة الفترة الزمنية للعاصفة. فترات العودة الزمنية هذه يتم تحديدها وتسجيلها بواسطة مصلحة الأرصاد الجوية، وكذلك مصممو حماية البيئة يجب أن يعرفوا كيفية قراءة واستخدام البيانات.

عند تطبيق هذه البيانات يستخدم التعبير (N-year storm) أي عدد تكرار مرات حدوث العاصفة المطرية ويرمز له بالرمز (N). مثلاً، عاصفة ذات فترة تكرار زمنية ٥ سنوات تسمى عاصفة - ٥ سنوات. وهذا يعني أنه خلال فترة زمنية طويلة، فإن متوسط الفاصل الزمني بين العواصف ذات هذه الكثافة المعينة ومدتها المحددة هو ٥ سنوات. وهذا لا يعني أن عاصفة ممطرة مشابهة سوف تحدث مرة واحدة تماماً كل ٥ سنوات. في الحقيقة، فإنه من الممكن أن يحدث أكثر من مرة خلال ٥ سنوات مثل هذه العاصفة خلال فواصل زمنية صغيرة، حتى خلال العام الواحد، ولكن فرص هذا تكون ضئيلة. يلاحظ كذلك أن احتمالات حدوث العاصفة - ٥ سنوات في أي فترة زمنية مدتها ٥ سنوات ليس بنسبة ١٠٠%. بمعنى آخر، يمكن القول أن عاصفة - ٥ سنوات ستحدث بالتأكيد خلال

الخمس سنوات القادمة مثلاً. ولكن خلال فترة زمنية طويلة ٥٠٠ عام مثلاً، سيكون هناك حوالي ١٠٠ من هذه العواصف - ٥ سنوات.

احتمالات الحدوث :

البيانات عن كثافة وفترة الاستمرارية وفترة العودة للعواصف الممطرة لها أهمية في تصميم منشآت الصرف وكذلك لتوقعات ذروة التدفقات في الأنهار، وعلى الطرف الآخر من الدورة الهيدرولوجية، فإن معرفة شدة الجفاف وتكرر حدوثه له أهمية في تصميم خزانات الإمداد بالمياه.

بسبب عدم التأكيد وعدم الانتظام لطبيعة الحوادث الهيدرولوجية، فإنه توجد دائماً مخاطر الفشل عند تصميم المنشأ أو الوسيلة المتعلقة بالمصادر المائية. فمثلاً النهر المستخدم لإمدادات المياه قد لا يمكنه توفير الماء الكافي للتجمعات خلال فترات الجفاف. حتى في حالة بناء خزان صغير للتغلب على هذا، فإنه تظل دائماً المخاطرة نحو حدوث جفاف أكثر حدة والذي يسبب جفاف هذا الخزان. هذه المخاطرة يمكن خفضها ببناء خزان ضخم، ولكن هذا سيكون أكثر تكلفة. المصممون يجب أن يكونوا قادرين على المواءمة بين الاقتصاد والمخاطرة باستخدام قواعد الاحتمالات.

فرصة أو احتمال وضع حدث يمكن التعبير عنه بكسر، أو رقم عشري أو نسبة مئوية، فمثلاً احتمال قذف قطعة العملة المعدنية لتكون صورة وليس كتابة هو مرة واحدة في كل مرتين أو $\frac{1}{2} = 0,5 = 50\%$ على المدى الطويل ٥٠ قذفة من بين ١٠٠ يمكن أن تكون صورة. احتمال واحد أو 100% يمثل تأكيد والاحتمال صفر مستحيل. توجد علاقة بسيطة بين الفترة الزمنية لعودة حدوث العاصفة الهيدرولوجية. إذا كان الحرف (N) هو فترة التكرار لهذه الحادثة (بالسنين) عندئذ فإن الاحتمال (P) لتلك الحادثة لتكون متساوية أو أكثر في سنة ما هو مقلوب الحرف (N) يعبر عنه بالمعادلة $P = \frac{1}{N}$.

فمثلاً، احتمالات حدوث العاصفة المطرية - ٥ سنوات في أي سنة واحدة هو $P = 0,5 = 0,2 = 20\%$ ، وهذا يعني كذلك أن هناك فرصة أقل من 20% نحو حدوث عاصفة أسوأ وأشد كثافة في أي سنة.

بالاعتماد على الخبرة العادية، يمكن ملاحظة أن العواصف الممطرة الكثيفة تكون قليلة ومتباعدة فيما بينها، بمعنى آخر، كلما تباعد الفاصل الزمني للحدوث الهيدرولوجي،

كلما كبرت فترة تكرارها. وكلما زادت فترة تكرارها (N) كلما قلت احتمالات الحدوث (P)، ذلك بسبب العلاقة العكسية بين الاثنين. فمثلاً، توجد فقط فرصة بنسبة ١% فقط نحو حدوث عاصفة - ١٠٠ عام في سنة معينة. أنه احتمال قليل جداً لملاحظة عاصفة قوية - ١٠٠ عام مقارنة بعاصفة - ٥ عام. (رغم أنه في مناطق كثيرة تسجيلات سقوط الأمطار لا تعود إلى الخلف لمدة مائة عام، يمكن استخدام نظريات الإحصاء أو الاحتمالات لامتداد البيانات الموجودة بعد الفترة الحقيقية للتسجيل).

للإيجاز، كلما زادت فترة التكرار (N)، كلما قل احتمال تساوى أو زيادة الحادث الهيدرولوجي في سنة ما. هذا مفهوم هام. عموماً كلما زادت حساسية المشروع نحو فقد في الأرواح، الخسائر الاقتصادية، أو الأثر البيئي السيئ، كلما كانت قيمة (N) المستخدم في حسابات التصميم أكبر. السد مثلاً، يمكن تصميمه لاحتواء فيضان ١٠٠ عام، بينما إجمالى صرف العاصفة الممطرة يمكن تصميمه لتداول التدفق من عاصفة - ٢ سنة. في الحالة الأولى حيث تصميم السد للتدفق الضخم سيقفل من فرص الفشل أو تصدع السد ويؤكد حماية الأرواح والمتابعة تحت التيار. وفي الحالة الثانية يتم عمل المقارنة بين توفير المال للإنشاءات، أخذ الفرصة نحو صرف العاصفة والتدفقات مرة كل عامين أو هكذا.

العلاقات بين الكثافة، زمن الاستمرار التكرار :

(Intensity, Duration, Frequency, Relationships)

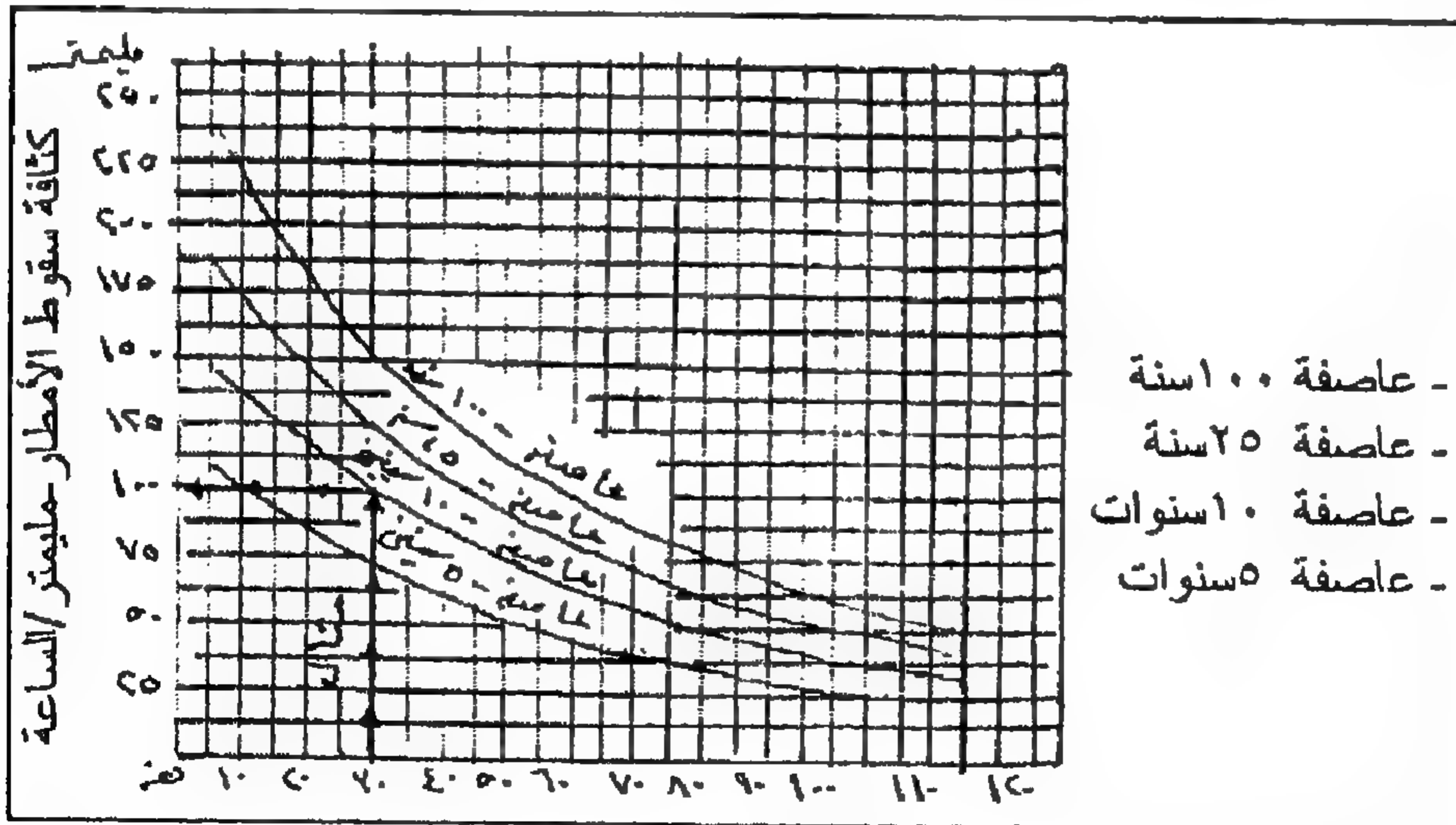
في هذه المناقشة المصطلحات مثل كثافة العاصفة الممطرة، فترة استمرار العاصفة، الفاصل الزمني للتكرار تكون دراستها كما لو كانوا كميات مستقلة. ولكن تلك العوامل الثلاثة مرتبطين ببعض البعض بما يتطلب دراستها معاً. المصطلح الترددي (Frequency) للعاصفة أو أى حادثة هيدرولوجية يختلف بطريقة عكسية مع فترة عودتها. عاصفة - ١٠ سنوات مثلاً، سوف تحدث في أحيائين أقل من العاصفة - ٥ سنوات.

بيانات سقوط الأمطار التي يتم تجميعها بواسطة مصلحة الأرصاد الجوية يتم تجميعها وتحليلها ونشرها في أشكال مختلفة. العلاقات ما بين كثافة سقوط الأمطار، وفترة استمرارها، وتردد حدوثها يمكن توضيحها في مخطط في شكل منحنيات أو خرائط، أو يمكن التعبير عنها في شكل معادلات، حيث تستخدم هذه البيانات بواسطة المصممون لتقدير تدفقات العاصفة الممطرة وأقصى تدفق أو صرف.

منحنيات سقوط الأمطار : (Rain Fall Curves)

نموذج لمجموعة من منحنيات كثافة، فترة استمرار، تردد سقوط الأمطار في الشكل (٦/٥). الإطار العام لسقوط الأمطار يختلف طبقاً للوضع الجغرافي والمناخ. للتطبيق الحقيقي لبيانات سقوط الأمطار لمشكلة تصميم حقيقية، فإن منحنيات سقوط الأمطار المناسبة لمكان معين تحت الدراسة يتم الحصول عليها من الجهة المسئولة عن رصد حدوث الأمطار.

تستخدم منحنيات سقوط الأمطار بهذا الشكل بدخول المحور الأفقى مع الفترة الزمنية لاستمرار العاصفة التى يتم اختيارها، ثم التحرك أفقياً للتقاطع مع زمن عودة عاصفة معينة (الخطوط المنحنية) ثم التحرك رأسياً نحو المحور الأفقى، حيث تتم قراءة كثافة سقوط الأمطار. فمثلاً، يمكن من الشكل (٣/٥) ملاحظة أن عاصفة - ١٠ سنوات واستمرارها لمدة ٣٠ دقيقة سوف تكون كثافتها ١٠٠ ملمتر فى الساعة (أو حوالى ٤ بوصة / الساعة). شكل منحنيات سقوط الأمطار هذا يعكس حقيقة أن العواصف ذات فترات الاستمرار القصيرة لها متوسط كثافة أعلا من العواصف الطويلة. كذلك بالنسبة لفترة استمرار معينة، تكون الكثافات تقابل العواصف ذات فترات التكرار الطويلة.



شكل (٣/٥) نموذج لكثافة سقوط الأمطار زمن الاستمرار،

منحنى التردد. المنحنيات مثل هذه يتم إعدادها بواسطة إحصائيات سقوط الأمطار

مثال :

عاصفة مطرية استمرت لمدة ٤٠ دقيقة وأسقطت سمك ٥٠ ملمتر (٢ بوصة) من الأمطار. باستخدام منحنيات سقوط المطر في الشكل (٣/٥) قدر احتمالات ملاحظة عاصفة مماثلة في العام التالي.

الحل :

احسب كثافة العاصفة كالآتي :

$$\text{الكثافة} = \frac{٥٠ \text{ ملمتر}}{٤٠ \text{ دقيقة}} \times \frac{٦٠ \text{ دقيقة}}{١ \text{ ساعة}} = ٧٥ \text{ ملمتر في الساعة}$$

الآن استخدام الشكل (٣/٥) على المحور الأفقي بـ ٤٠ دقيقة وعلى المحور الرأسي بـ ٧٥ ملمتر في الساعة. تقاطع الخطوط الأفقية والرأسية الممتدة من هذه النقط تقع تقريباً في منتصف المسافة بين عاصفة - ٥ سنوات، عاصفة - ١٠ سنوات. من هذا يمكن استنتاج أن زمن العودة للعاصفة محل الدراسة هو حوالي ٧,٥ سنة. احتمال ملاحظة عاصفة مشابهة أو أشد كثافة في العام التالي يتم حسابها باستخدام المعادلة التالية.

$$P = 1 \div 7.5 = 0.13 \text{ أو } 13\%$$

معادلات سقوط الأمطار :

العلاقة بين الكثافة - فترة الاستمرار - والتكرار أو التردد يمكن التعبير عنها بمعادلات بدلاً من شكل المنحنيات. أحد المعادلات التي يمكن استخدامها هو

$$i = \frac{A}{t + B}$$

حيث :

i = كثافة سقوط الأمطار / ملمتر / الساعة (بوصة / الساعة)

t = الفترة الزمنية لسقوط الأمطار بالدقيقة.

A, B = ثوابت تتوقف على فترات التكرار والشكل الجغرافي للمكان.

الفصل الثالث

قيم الثوابت A , B تم استخراجها من أماكن مختلفة من المدينة. فمثلا بالنسبة لعاصفة - ١٠ سنوات في غرب وسط ولايات الأطلنطي، يمكن أن تكون A , B ٥٨٤٠ ، ٢٩ على التوالي. (هذه القيم لـ A , B) تستخدم في حالة النظام المترى، الكثافة (I) في هذه الحالة بالمليمتر/ الساعة.

مثال :

باستخدام معادلة سقوط الأمطار ($i = \frac{A}{t+B}$) عين شدة أو كثافة سقوط الأمطار لعاصفة - ١٠ سنوات لفترة استمرار ٦٠ دقيقة حيث في كاليفورنيا $A = ٥٨٤٠$, $B = ٢٩$ ، في الولايات الغربية $A = ١٥٢٠$, $B = ١٣$

الحل :

باستخدام المعادلة حيث $t = ٦٠$ دقيقة

$$\text{في كاليفورنيا } i = \frac{٥٨٤٠}{٦٠ + ٢٩} = ٦٦ \text{ مليمتر/ الساعة}$$

$$\text{في الولايات الغربية } i = \frac{١٥٢٠}{٦٠ + ١٣} = ٢١ \text{ مليمتر/ الساعة}$$

خرائط سقوط الأمطار :

يمكن توقيع سقوط الأمطار على خرائط، حيث توضح الخطوط المتصلة عمق الأمطار خلال عام معين ولمدة استمرار معينة.

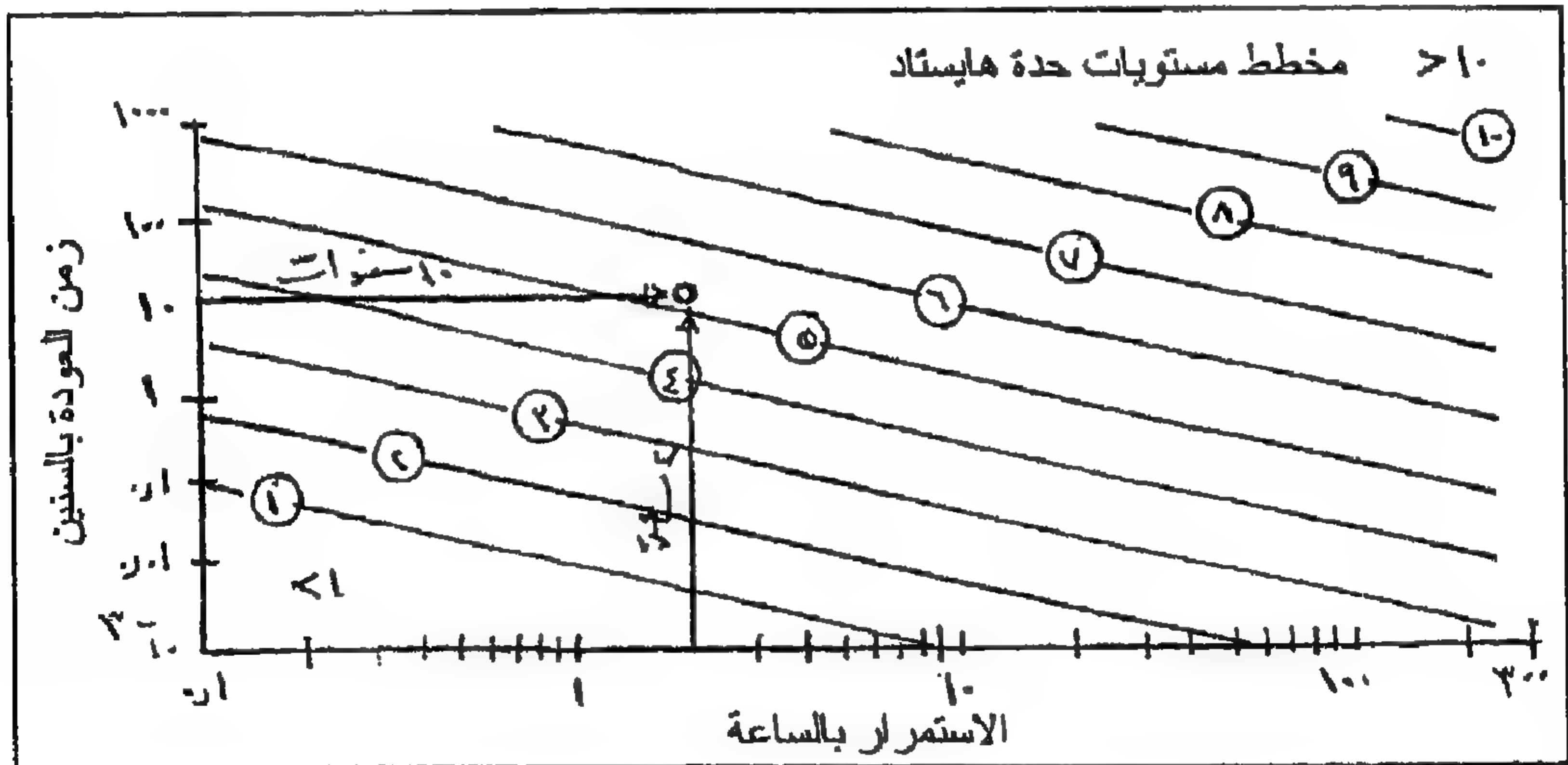
نظام تقسيم سقوط الأمطار :

المصطلحات المستخدمة في أزمنة العودة مثل سقوط أمطار - ٥ سنوات أو عاصفة - ١٠٠ سنة هي لوصف حوادث سقوط الأمطار - قد يلاحظ من الوهلة الأولى أن سقوط الأمطار - ٥ سنوات صغير مقارنة لحالة - ١٠٠ سنة. ولكن هذا ليس الواقع بالضرورة ذلك لأن استمرار العاصفة يلعب دورا هاما في وصف حدة العاصفة الممطرة. فمثلا، من

الممكن أن عاصفة - ٢ سنة لمدة ٢٤ ساعة يكون لها عمق أمطار أعظم عن عاصفة - ٥٠ سنة لمدة ساعة واحدة. والذي ينتج عنه زيادة في هطول الأمطار في حالة العاصفة - ٢ سنة. والتي قد يكون لها أثر بيئي أكثر حدة وإحداث خسائر أكبر في المتاع والممتلكات. بغرض توصيف حدة العاصفة، يكون عندئذ من الضرورة حساب زمن العودة وفترة الاستمرار (عامل آخر يمكن أن يؤخذ في الحساب هو مقدار المساحة التي تحدث فوقها العاصفة المطرية).

أحد مقترحات نظام تقسيم سقوط الأمطار هو مخطط الحدة لهايستاد (HIS - Haestad severity Index) والذي يستخدم عشرة مستويات للقيمة تعرف بالعلاقة اللوغاريتمية بين أزمدة العودة والاستمرار وخمسة أنواع من الحدية تشبه تلك المستخدمة في الأعاصير والزوابع.

المخطط الذي يوضح مستويات (HIS) موضح في الشكل (٣/٦). والجدول (٣/١) يوضح العلاقة بين مستويات (HIS) وحالات الحدة.



شكل (٣/٦) توقييع لوغاريتمى لزمن عودة سقوط الأمطار مقابل فترة استمرار سقوط الأمطار لتعيين مخطط الحدة لهايستاد لعاصفة. فمثلاً عاصفة - ١٠ سنوات - ٢ ساعة لها مستوى هايستاد ٥.١.

جدول (٣/١) مخطط مستويات الحدة لهيستاد ومستويات سقوط الأمطار :

مخطط الحدة لهيستاد	التصنيف	الوصف العام
أقل من ٢,٥	لا شئ	غير واضح كفيضان، نوعية مياه قابلة للاستخدام
من ٢,٥ إلى ٤	١	فيضان ضعيف فى الساحات، ومناطق الصرف الضعيفة
من ٤ إلى ٥,٥	٢	الاقتراب من طاقة التصميم لخطوط صرف الأمطار مع توقف فيضان الشوارع.
من ٥,٥ إلى ٧	٣	معظم خطوط الصرف وطاقة القنوات تزيد عن طاقتها حيث يحدث ارتفاع فى قنوات المياه.
من ٧ إلى ٨,٥	٤	زيادة عن تصميمات كل نظم النقل والصرف الإغراق وإحداث تلفيات.
أكبر من ٨,٥	٥	حوادث سقوط أمطار مسببه للدمار، فوق طاقة شبكات الصرف والمجارى السطحية والأنهار، حيث الفيضان المدمر.

مثال :

أحسب مستوى هايستاد لحادثتين لسقوط الأمطار مع فترة زمنية للعودة ١٠ سنوات، وعين تصنيف كل حادثة. العاصفة الأولى استمرت لمدة ساعتين والعاصفة الثانية استمرت لمدة ٤٨ ساعة.

الحل :

من الشكل (٣/٦) تقاطع الخطوط الأفقية والعرضية لعشر سنوات، ٢ ساعة ينتج مستوى حدية أو هايستاد حوالى خمسة. من الجدول (٦/١) يلاحظ أن مثل هذه العاصفة سيكون تصنيفها ضمن الحادثة رقم (٢) المستوى الذى سوف يقترب من طاقة التصميم لشبكات حصد الأمطار التقليدية ومداخلها. ثانياً من الشكل (٣/٦) لعشرة سنوات،

واستمرار العاصفة لمدة ٤٨ ساعة، فإن هايتاد هو حوالى (٧) - من الجدول (٣/١)، يكون التصنيف (٤)، والذي سوف يسبب حدوث فيضان مدمر. كلا العاصفتين لهما نفس الفترة الزمنية للتكرار أو الحدوث، ولكن العاصفة ذات الاستمرار الأطول لها حدية أشد أو مقدار أكبر. وهذا واضح فى حالة العواصف ذات فترة التكرار الزمنية الواحدة، حيث زيادة فترة استمرار العاصفة، يعنى زيادة حدتها. ولكن هذا ليس واضحاً عند مقارنة عاصفتين لهما فترة عودة زمنية مختلفة، كما يوضحه المثال التالى.

ما هى العاصفة ذات الحدة الأشد، هل العاصفة - ٥ سنوات لمدة ٤٨ ساعة أو العاصفة - ١٠٠ سنة لمدة ٢٠ دقيقة.

الحل :

من الشكل (٣/٦) والجدول (٣/١) يلاحظ أن العاصفة - ٥ سنوات ٢٤ ساعة هى فى التصنيف (٣)، بينما العاصفة - ١٠٠ سنة - ٢٠ دقيقة (٠,٣٣ ساعة) هى فى التصنيف رقم (٢) والذي هو أقل حدة. فى هذه الحالة فإن العاصفة - ٥ سنوات يمكن أن تحدث تلفيات أكثر من العاصفة - ١٠٠ سنة.

٤- المياه السطحية : Surface Water

المياه التى تتدفق على الأرض تسمى عادة الماء الجارى فوق سطح الأرض أو ماء المطر (Run off). هذا الماء الجارى الذى لم يصل بعد إلى قناة مجرى محددة يسمى التدفق فوق سطح الأرض (Over Land Flow) (على سطح ناعم مثل الرصف). هذا النوع من الماء السطحى هام فى حالة مناقشة نظم صرف مياه الأمطار. فى معظم الحالات، مصطلح المياه السطحية يشير إلى المياه التى تتساب فى المجارى المائية والأنهار وكذلك المياه المخزنة فى البحيرات الطبيعية أو البحيرات الصناعية.

مستجمعات المياه : (Water Sheds)

كما سبق توضيحه يحدث المطر المنهمر (Run off) عندما يزيد معدل الترسيب أو هطول الأمطار عن معدل الإعاقة أو البخر والنتح. المساحة الكلية للأرض التى تسهم فى المطر الزائد نحو النهر أو المجرى المائى تسمى مستجمعات المياه. ويمكن أن تسمى أحواض الصرف أو مساحات الحجز، وخاصة فى حالة تدفقات الماء نحو أو فى نظام صرف حضرى. عموماً يهتم المهندسون فى تحديد كمية المياه الزائدة فى نقطة معينة فى

المجرى الطبيعي أو نظام الصرف الهندسي. هذه النقطة تسمى مخرج الحوض أو نقطة التركيز.

يمكن تحديد الحد الطبيعي المحيط بمستجمعات الحجز من الخريطة الطبوغرافية، باستخدام خطوط كنتور ارتفاعات الأرض. بالنظر إلى الخريطة الطبوغرافية سيلاحظ تدفق المياه بحرية عمودي على خطوط الكنتور، والذي هو اتجاه أدنى انحدار عند أي نقطة. عند فحص الخريطة الكنتورية وملاحظة الإطار العام للتدفق فوق سطح الأرض، عندئذ يكون من الممكن تعيين حدود مستجمعات المياه، هذا الحد يسمى خط تقسيم الصرف أو خط السد (Drainage Divide line or Ridge line)، وهو يفصل المستجمعات المتجاورة.

صورة مبسطة لمستجمع المياه هي تلك للقمع شكل (٣/٧). الحدود المتسعة عند قمة القمع تمثل خط الإعاقة أو السد والمساحة الدائرية الداخلية لخط الإعاقة تمثل مساحة الحجز. مع سقوط الأمطار داخل إطار الحجز أو الإعاقة فإنها تتدفق إلى أسفل نحو المخرج الضيق عند القاع، والذي يمثل نقطة التركيز. في التطبيقات العملية، يجب رسم وتحديد خط السد أو الإعاقة على خريطة طبوغرافية بواسطة المهندس أو الفني المختص. عادة خط الإعاقة أو السد يكون غير منتظم الشكل وليس في شكل دائرة كما في حالة قمة القمع، ونقطة التركيز تقع على الخط وليست في منتصف المساحة، نظراً لأن المسقط الرأسى لمستجمع المياه يكون مرسوماً.

لرسم خط تقسيم الصرف على خريطة طبوغرافية يمكن اتباع الخطوات التالية:

١- يبدأ عند نقطة التركيز هذه يمكن أن تكون تقاطع مجريين، عند نقطة حيث يتدفق المجرى خلال بالوعة أو بربخ أو عداية لطريق رئيسي، أو عند موقع خزان. خط التقسيم سوف يبدأ وينتهي عند هذه النقطة.

٢- يتم اختيار خطوط الكنتور لتعيين الشكل العام للتدفق. تصور سقوط الماء على الأرض عند أي نقطة وملاحظة أي طريق سوف تسلكه. يبدأ بمخطط مقاطع خط التقسيم الذي يفصل بوضوح مستجمع مياه عن مستجمع المياه المجاور. هذه الأجزاء من الخط سوف تتبع العوائق والسدود والمرور خلال المرتفعات بين القمم الطبوغرافية لاحظ أن خط تقسيم الصرف الطبيعي هو دائماً عمودي على خط الكنتور.

٣- أملاً أي فراغات يمكن أن تترك في الخط الجارى توقيعه. أحياناً، خط التقسيم سينحرف بحدّة على قمة السد أو العائق للمرور خلال أحد المرتفعات التي تصل بين قمتين (Saddle) على الخط.

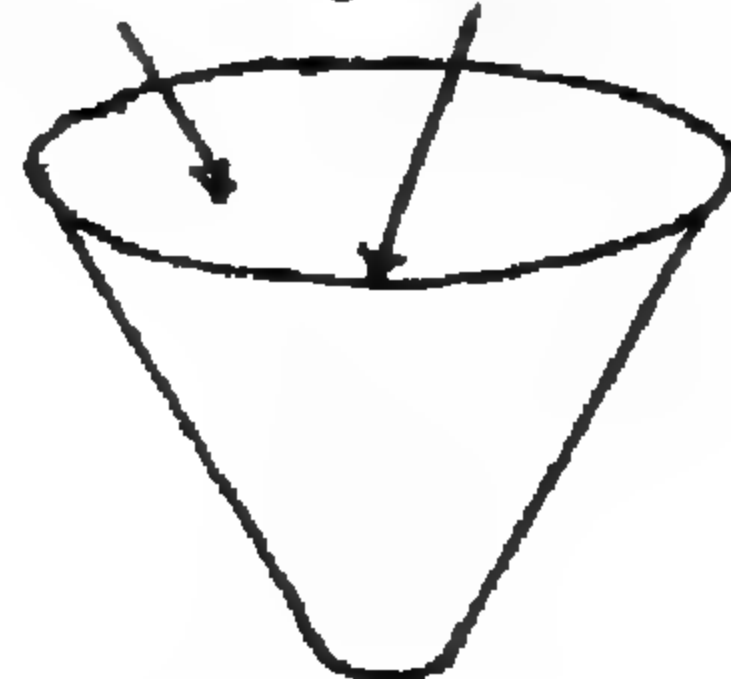
مخطط موقع لإطارات التدفق وخط تقسيم الصرف موضح فى الشكل (٣/٨-١) ومنظر رأسى لنفس المنطقة موضح فى الشكل (٣/٨-ب). الانحناءات الحادة التي يمكن أن يتصف بها خط التقسيم عند مروره خلال السدود والمرتفعات المجاورة موضح فى الشكل (٣/٩). خط تقسيم صرف آخر موضع (٣/١٨) - كخط منقط ومهشّر).

النقطة التي عندها يتقاطع أو يتداخل مجريين تسمى نقطة الجمع أو الحشد (Point of Confluence). مع تداخل التدفقات الصغيرة، فإنه تتكون المجارى الضخمة أو الأنهار. مساحة التجمع لمجرى معين يمكن أن تكون مجرد جزء من منطقة استجماع المياه الأكبر. المساحات الأصغر تسمى أحواض فرعية لمنطقة استجماع المياه (Subbasin of the Water Sheds). نموذج لشبكة الصرف موضح فى الشكل (٣/١٠). يمكن تقسيم المجارى طبقاً لوضعها فى الشبكة الكلية. التقسيم التقليدى هو مجارى الدرجة الأولى، مجارى الدرجة الثانية وهكذا. مجارى الدرجة الأولى ليس لها أي روافد أو مجارى أصغر تتدفق نحوها.

مستجمعات المياه لنهر كبير قد تشمل آلاف من الأميال المربعة وكذا تتضمن كثيراً من الروافد الصغيرة. هذه المستجمعات الضخمة للمياه تسمى كذلك أحواض النهر.

مساحة حوض الصرف تعنى إجمالى مساحته الأفقية. الأحواض الصغيرة نسبياً يمكن أن يعبر عنها بالفدان أو الهكتار. تجهيزه ميكانيكية تسمى مقياس المسطحات (Planimeter) تستخدم عادة لقياس المساحة بمجرد تتبع حدود مستجمع المياه. يمكن معايرة مقياس المسطحات الحديثة للقراءة الرقمية للمساحة على أساس مقياس الرسم للخريطة المستخدمة.

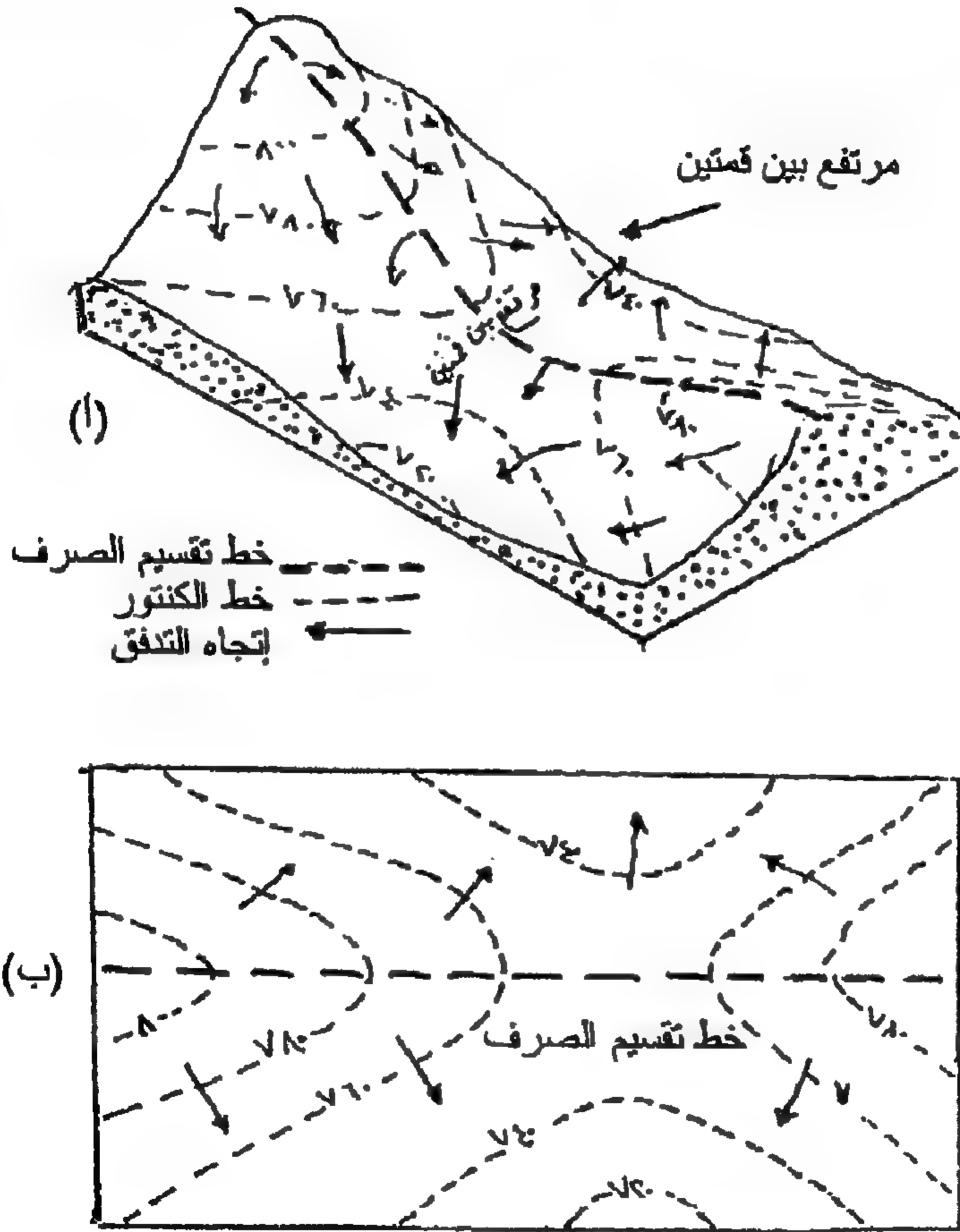
خط الارتفاع مساحة الصرف



شكل (٣/٧) منظر مبسط لحوض صرف أو مستجمع المياه

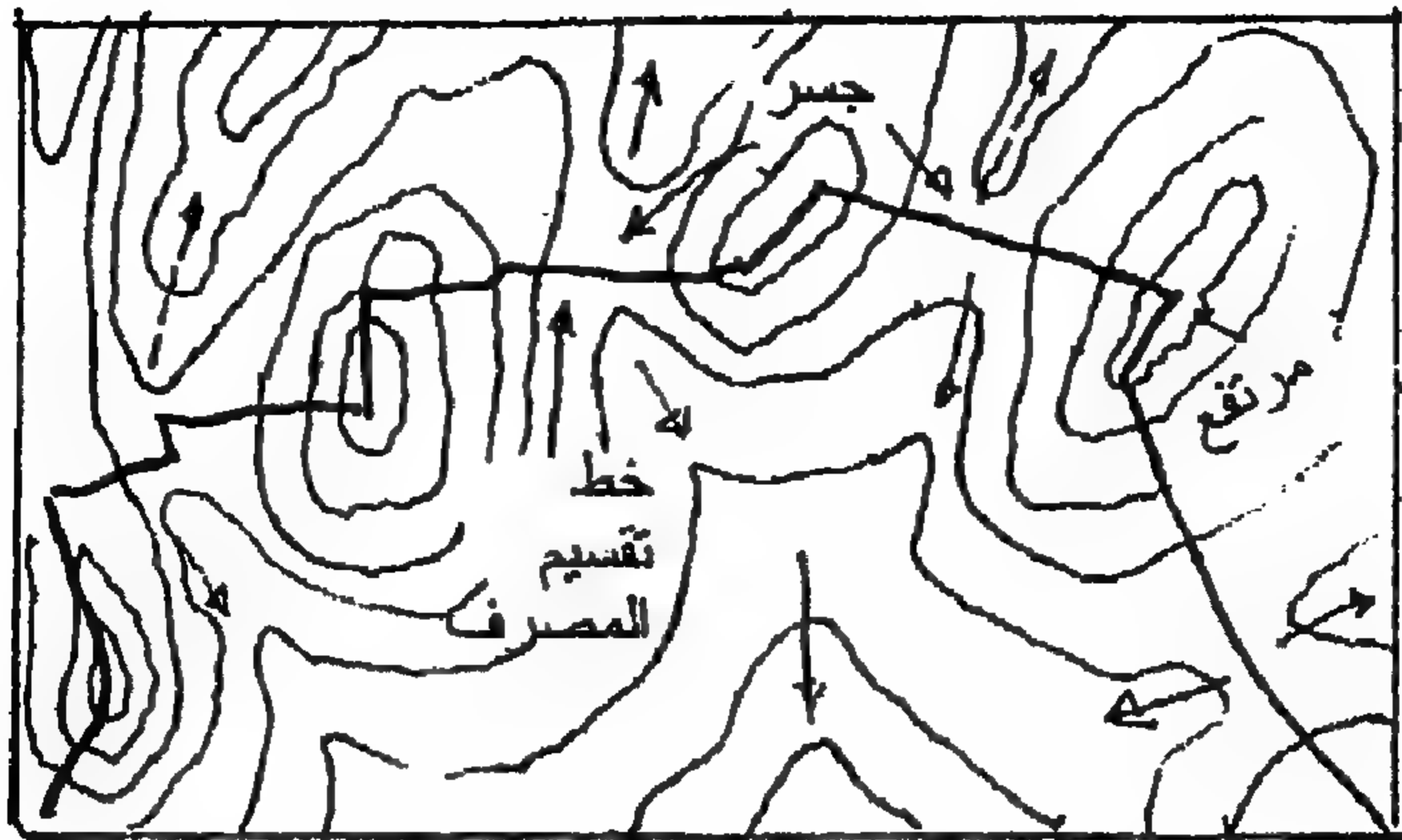
الفصل الثالث

حجم ومعدل تدفق مستجمع المياه هو دلالة لمتغيرات كثيرة. مساحة الحوض والكثافة وفترة الاستمرار لسقوط الأمطار لها تأثير مباشر على كمية ومعدل الفيضان. عوامل أخرى تشمل ميل الأرض، نوع التربة والتغطية النباتية، ونوع استخدامات الأرض. فمثلاً، المساحة المسطحة ذات التربة الرملية سوف تنتج فيض أو تدفقات أقل من المساحة المائلة ذات التربة الطفالية. كثير من المياه سوف يتسرب خلال مسام التربة الرملية في الحالة الأولى، تاركاً جزءاً صغيراً من الأمطار ليكون تدفقات سطحية. كذلك المناطق الحضرية كثيفة السكان تسبب زيادة في الفيض عن المناطق الريفية.

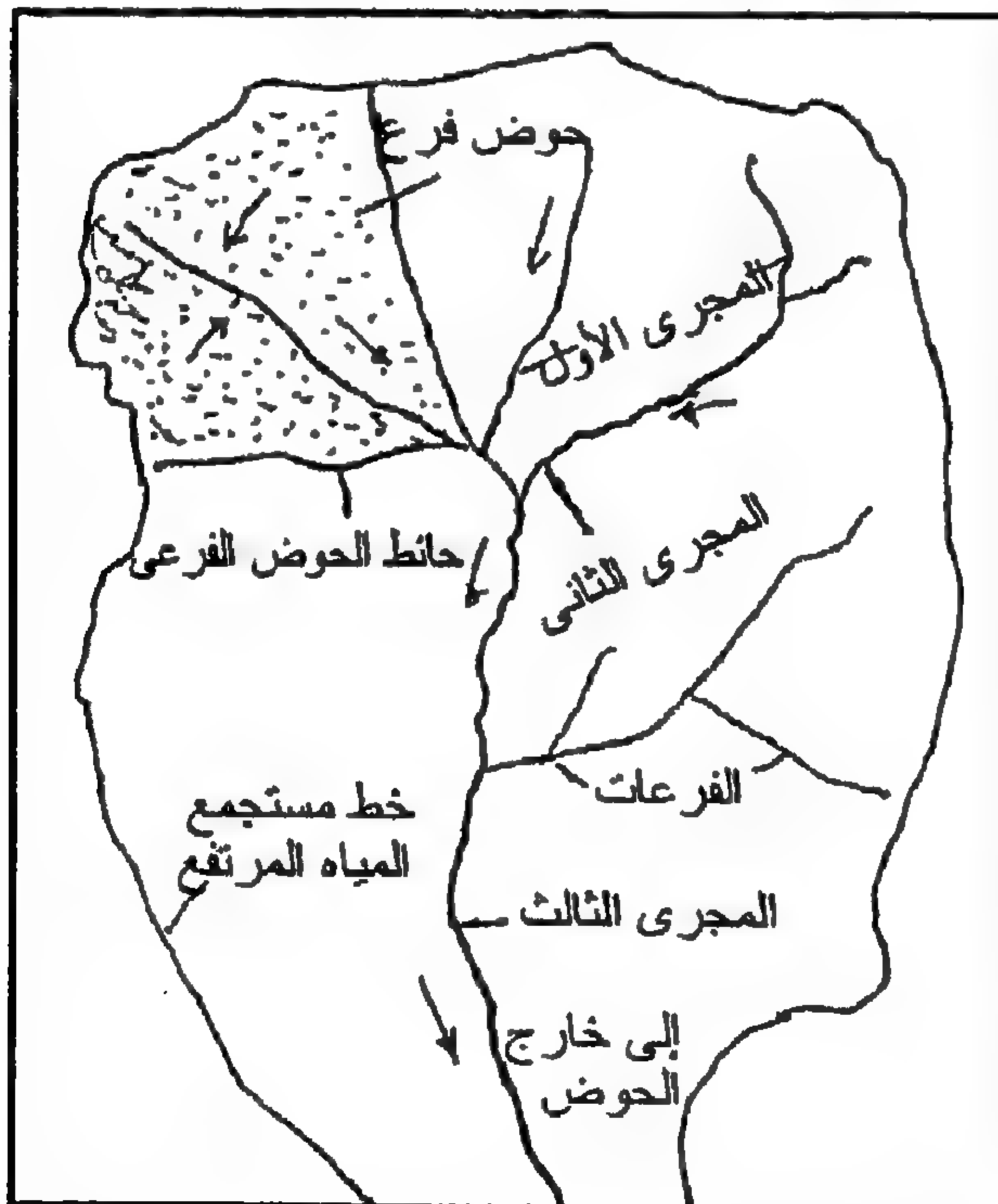


شكل (٣/٨-ب) منظر رأسى لخريطة
طوبوغرافية التي توضح نفس خط تقسيم
الصرف وخطوط الكنتور الموقعة في (أ)

شكل (٣/٨-أ) منظر عام للتدفق حيث
الاسهم تشير إلى إتجاه التدفق - خط
تقسيم الصرف يمر خلال مرتفعين والسرغ
أو المرتفع الأقل المتصل بينهما يفصل عدد
٢ من مستجمعات المياه.



شكل (٣/٩) خط تقسيم الصرف أو ينحرف بشدة
على مرتفع أو على جرس كما هو موضح



شكل (٣/١٠) مستجمع المياه الضخم عادة يشمل
مساحات تجمع صغيرة أو أحواض صغيرة

تدفق المجرى المائي : (Stream Flow)

كمية أو حجم المياه التي تتدفق في المجرى المائي تسمى معدل التدفق أو الصرف للمجرى المائي. الصرف يقدر بالحجم في وحدة الزمن الذي يعبر أي نقطة في المجرى المائي. الوحدات المترية للصرف هي عادة المتر المكعب في الثانية، المتر المكعب في الساعة، أو بوحدات القدم المكعب في الثانية أو بالجالون في الدقيقة. مقطع المجرى الذي له ميل ثابت تقريباً، وكذلك المقطع والصرف، يمكن أن يسمى اللسان المنبسط من المجرى (Reach of the Stream). يختلف تصرف المجرى مع الوقت. عموماً نلاحظ التدفقات العالية في أشهر الربيع والصيف، بينما المعدلات المنخفضة من التصرف تكون في فصل الشتاء، نوبان الجليد يمكن أن يساهم بشكل كبير في تصرف المجرى. التغيرات في التصرف التي تحدث على أساس كل أسبوع أو كل يوم أو كل ساعة لها علاقة مباشرة بحوادث سقوط الأمطار. في بعض المجاري المائية يمكن أن يحدث تغير كبير في التصرف ما بين الوفرة والجفاف.

ومعدلات التدفق المنخفضة يمكن أن تسبب مشاكل بيئية في المجاري المستقبلية للصرف من محطات معالجة مياه الصرف بسبب قلة المياه في المجرى لتخفيف تركيزات مياه الصرف.

كذلك فإن معدل التصرف المنخفض للمجرى المائي يمكن أن يسبب مشاكل بيئية إذا كان هذا المجرى هو مصدراً لإمدادات المياه. ولكن التصرفات العالية جداً عادة تحتم إنشاء نظم التحكم في الفيضان.

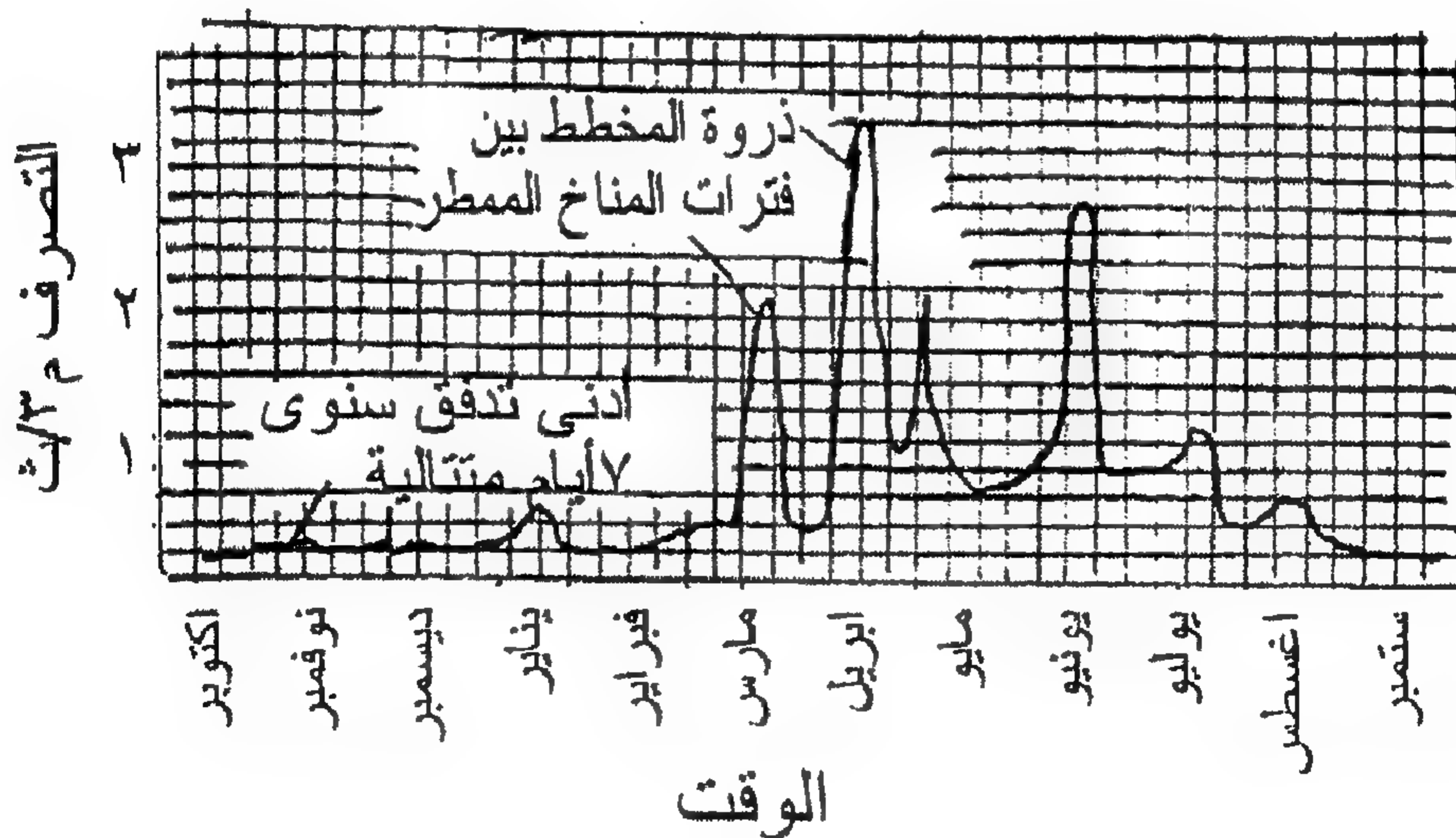
علم وصف المياه : (Hydrographs)

مخطط التصرف مقابل الوقت يسمى الهيدروجراف. المحور الرأسي يمثل التصرف والمحور الأفقي يمثل الوقت. الفواصل الوقتية قد تمتد إلى عدة سنوات أو لعدة ساعات، طبقاً لنوع الهيدروجراف واستخدامه.

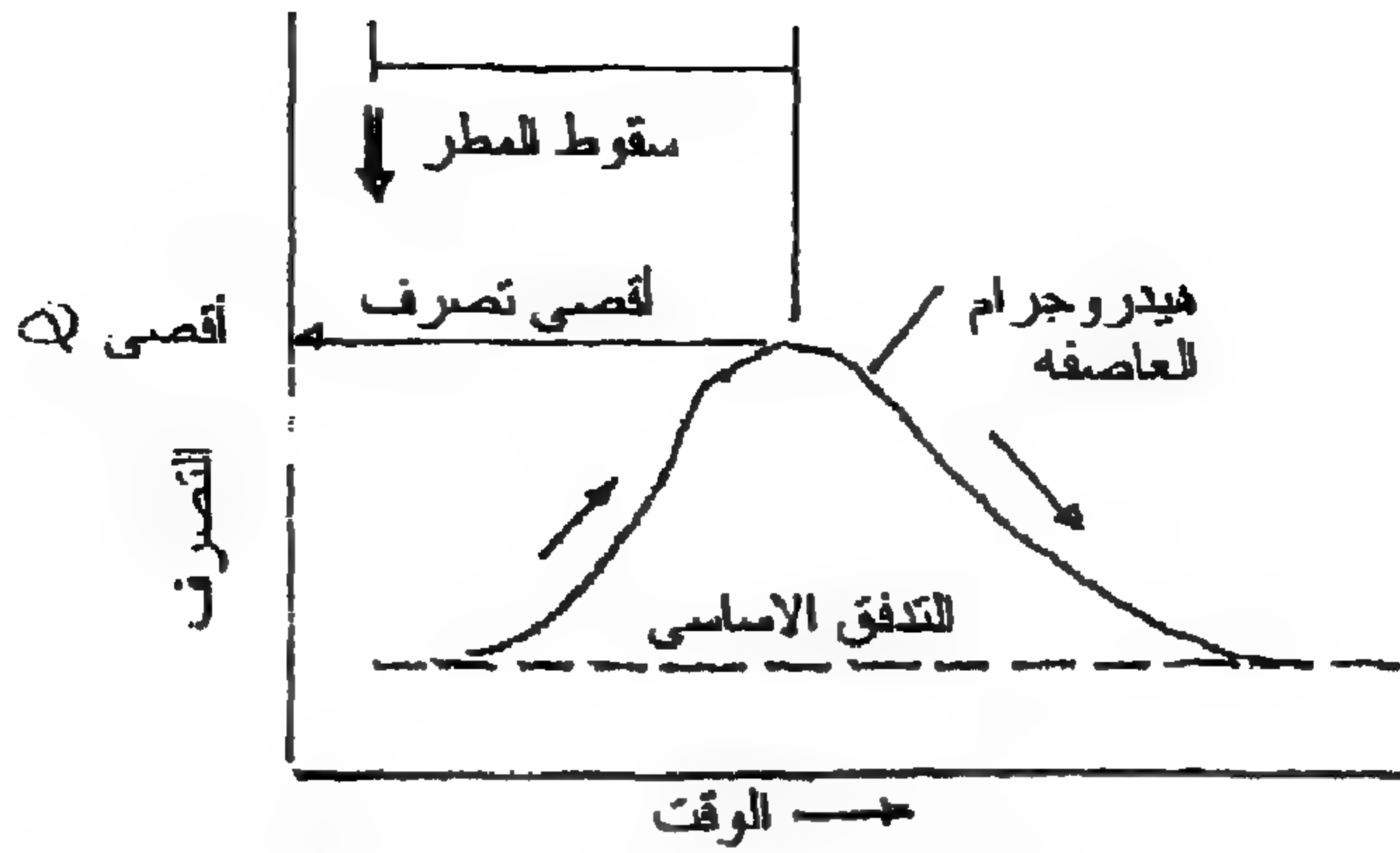
تدفق المجرى خلال فترة عام واحد يمكن توقيعه كهيدروجراف سنوي، كما هو موضح في الشكل (٣/١١). القمم المرتفعة في المخطط تمثل فترات السقوط الكثيف للأمطار.

الهيدروجراف المطر الغزير أو عاصفة الهيدروجراف تمثل تأثير التدفق في المجرى بالنسبة لحادثة سقوط أمطار معينة. الفاصل الزمني على المحور الأفقي يكون عادة بالساعات أو الأيام. نموذج لهيدروجراف العاصفة موضح بالشكل (٣/١٢).

بعد بدء العاصفة بقليل وصول التدفقات فوق الأرض إلى قناة المجرى، فإن تصرف المجرى يبدأ في الزيادة. وهذا يوقع كطرف مرتفع للهيدروجراف. بعد فترة زمنية والتي تسمى فترة التخلف (Lag Time)، والتي تعتمد على الخواص الطبيعية لمستجمع المياه، يحدث أقصى تصرف. أقصى تدفق في المجرى هذا يمكن أن يحدث لساعات كثيرة بعد توقف هطول المطر. بعد الوصول إلى حالة الذروة هذه فإن تدفق المجرى يقل تدريجياً نحو التدفق الأساسي. التدفق الأساسي (Base Flow) هو التدفق الطبيعي للمناخ الجاف في المجرى، والذي يستمر بسبب تسرب المياه الجوفية من التربة نحو قناة المجرى. المجرى الذي له تدفق أساسي خلال العام يسمى مجرى دائم طوال السنة (Perennial Stream). المجرى الذي يجف تماماً أثناء فترات قلة سقوط الأمطار يسمى المجرى المتقطع. قنوات المجرى الدائم تخترق خط المياه الجوفية، بينما المجارى المائية المتقطعة تقع فوق خط المياه الجوفية.



شكل (٣/١١) مخطط هيدرولوجي لحوض صغير يبين التصرف مقابل الوقت



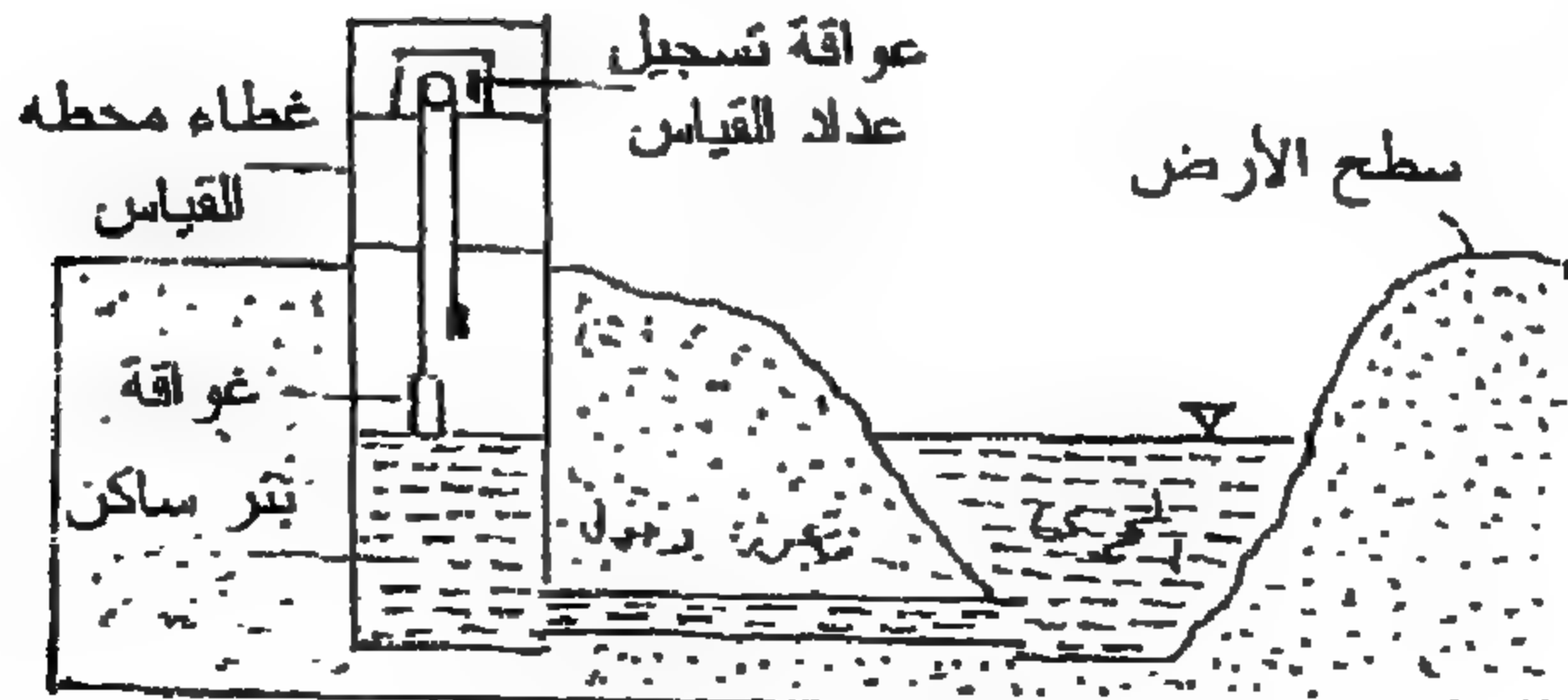
شكل (٣/١٢) مخطط لعاصفة أو الفيضان بوضح التأثير المباشر

لواقعة سقوط الأمطار على تدفق المجرى

محطات القياس : (Gauging stations)

المنشأ الثابت الذى يسمى محطة القياس يتم إنشاؤه على طول النهر لتوفير التسجيل المستمر للتدفق مقابل الوقت. مخطط لمحطة القياس كما فى الشكل (٣/١٣) أساس القياس فى محطة القياس هو عمق الماء فى المجرى المائى أو النهر. ارتفاع سطح الماء فوق منسوب قياسى هو المسافة بين منسوب القاع ومنسوب الماء، هذا الفرق فى المنسوب يتغير مع تغير التصريفات، كما هو متوقع كلما زاد المنسوب زادت التصريفات.

يمكن قياس فرق المنسوب وتسجيله على مخطط دوار بواسطة تجهيزه لتعمل بالطفو. الكابل والعوامة عند أحد الأطراف، وثقل الاتزان على النهاية الأخرى ويكون معلق على بكرة كما هو موضح فى الرسم.

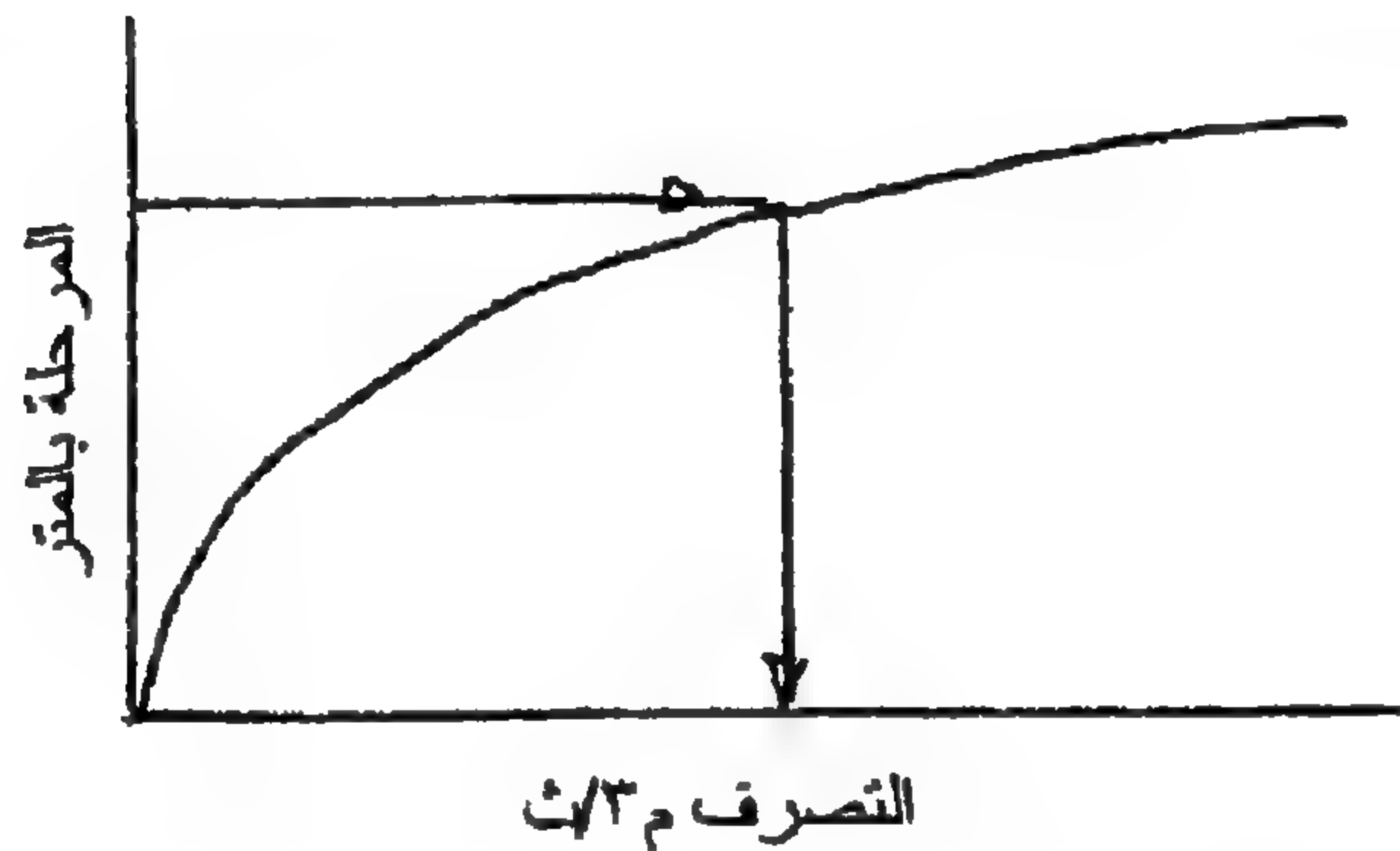


شكل (٣/١٣) مقطع لمحطة قياس المجرى،

حيث ارتفاع الماء فى البئر الساكن هو نفسه فى حالة النهر أو المجرى

تتحرك العوامة إلى أعلا، إلى أسفل مع تغير المناسيب، بما يعمل على دوران البكرة وبذا يتغير مكان القلم على المخطط. البئر الساكن، متصل بقناة المجرى بواسطة ماسورة، لمنع التغيرات الكثيرة لمنسوب الماء بسبب الرياح أو أى عوامل أخرى. تستخدم كذلك تقنيات تسجيل رقمية حديثة وأجهزة القياس عن بعد.

قبل بدء محطة التسجيل فى توفير البيانات حول تدفق المجرى، يكون من الضرورى تعيين العلاقة الحقيقية بين فرق المنسوب والتصرف. هذه العلاقة عادة يعبر عنها فى شكل مخطط فى منحنى تقديرى (Rating Curve) أو منحنى تصرف المنسوب كما فى الشكل (٣/١٤). بمجرد عمل هذا المنحنى التقديرى للمجرى، يكون من الضرورى فقط قياس الفرق للمنسوب (Stage) لمعرفة ما هو التصرف بالنسبة لحجم معدل التدفق.



شكل (٣/١٤) منحنى مرحلة التصرف للمجرى المائى أو النهر،
موضحاً العلاقة بين معدل التدفق وعمق الماء فى هذا النهر

أحد الطرق المستخدمة لربط العلاقة بين مرحلة فرق المنسوب والتصرف هى بإنشاء سد صغير أو هدار فى قناة المجرى (الهدار هو إعاقة فى المجرى حيث يجب أن تتدفق المياه أعلاه). ارتفاع المياه المتدفقة فوق الهدار، تسمى الرأس على الهدار، وترتبط هيدروليكيًا بحجم معدل التدفق.

فى المجارى الكبيرة والأنهار، قد تكون إعاقة تدفق المياه باستخدام الهدار طريقة غير عملية. زيادة عمق الماء خلف الهدار يمكن أن يسبب فيضان للماء تحت التيار. بدلاً من ذلك، التجهيزه المسماة مقياس التيار (Current Meter) تستخدم غاطسة عند نقاط مختلفة فى النهر لقياس سرعة التدفق عند فروق المناسيب المختلفة. نموذج لمقياس التيار يشمل دافع صغير الذى يدور فى الماء بمعدل يتناسب مع سرعة الماء. مع معرفة العمق

ومساحة المقطع للمجرى وحيث يتم عمل قياس للتيار، فإنه يمكن حساب التصريف. نظراً لأن عمق وشكل قاع المجرى قد يتغير بالتدريج بسبب البرى أو الترسيب، فإن منحنى المعدل يجب مراجعته وتحديثه من آن إلى آخر. يمكن حالياً استخدام إحصائيات تدفق المجرى بدون محطات قياس باستخدام نظم معادلات حديثة.

٥- الجفاف أو ندرة المياه : (Droughts)

الجفاف هو طول الفترة الزمنية للمناخ الجاف التى تسبب نقص فى المياه المتاح. على الجانب الآخر، الفيض هو ما يحدث عند فيضان المجرى أو النهر خارج الأجناب، بعد فترة من المطر الغزير أو انصهار الجليد. كلا هاتين الحالتين هما حدود هيدرولوجية قصوى والتي تعتبر حالات سيئة بالنسبة للمشاكل البيئية، بالإضافة إلى احتمال ما تسببه من فقد فى الأرواح والممتلكات.

لخفض المشاكل بسبب الفيضانات أو الجفاف، فإن مصممي الإنشاءات الهيدرولوجية ووسائل إدارة المياه يجب أن يكونوا قادرين على التقييم الكمي لحدة وتكرار تلك الحوادث. قيمة فيضان (N) سنة لمستجمع مياه معين يجب أن يتم تحديده إذا كانت جهود التحكم فى الفيضان ستكون مؤثرة. التدفق المنخفض فى المجرى بسبب الجفاف يجب تقديره إذا كانت المشاكل المتعلقة بالفترات الزمنية الطويلة للمناخ الجاف يمكن تجنبها.

إلى حد كبير، حدوث وشدة الفيضانات أو حالات الجفاف يمكن أن ترتبط بالترسيبات. نظراً لأن تسجيلات الترسيب تكون متاحة أكثر من بيانات تدفق المجرى المائي، فإن المصممين عادة لهم اختيار محدود ولكن لعمل تقديرات لحدوث الجفاف أو الفيضان من واقع تسجيلات بيان سقوط الأمطار. من المفترض أن الفترة الزمنية لتكرار أقصى تصرف للمجرى هي نفسها الفترة الزمنية لعودة العاصفة الممطرة التى تم حساب التصريف منها.

التدفقات المنخفضة التى تحدث باستمرار فى المجارى المائية أثناء الجفاف لها أهمية لسببين. إذا كان المجرى يستخدم فى إمدادات المياه، فإنه يجب تعيين إذا كان يجب بناء خزان لتأكيد الإمداد المناسب أثناء الجفاف، وإذا كان المجرى يستقبل مياه صرف من محطة معالجة مياه الصرف الصحي، حيث يجب تحديد ما إذا كان التدفق المنخفض للمجرى المائي سيظل مناسباً لتخفيف الصرف أو أن الأمر يتطلب بعض التقنيات المتقدمة للمعالجة.

متوسط أدنى تصرف خلال فترة زمنية مدتها أسبوع مع التكرار عشر سنوات تدفق :

(Minimum Average 7 - Consecutive day - 10 Years Flow)

في دراسات تلوث المياه يعرف تدفق الجفاف أو الندرة عادة بأنه متوسط أدنى تصرف خلال فترة زمنية واحد أسبوع مع فترة تكرار عشر سنوات.. وهذا ما يسمى أدنى متوسط الأيام السبع المتتالية - لعشر سنوات تدفق ويرمز له (MA7 CD10 - Flow). نظراً لأن قيمة (N) لهذا التدفق هي كل ١٠ سنوات، فإنه توجد فقط نسبة احتمال قيمتها ١٠% نحو حدوث جفاف أشد قوة في أى عام. بمعنى آخر، فإن الاحتمال سيكون ٩٠% أن أدنى تصرف أسبوعى فى المجرى سيكون أكبر من (MA7 CD10). وهذا يعتبر عموماً لتوفير مخاطر مقبولة بخصوص مقاومة تلوث المياه حيث يستخدم (MA7 CD10) لحساب التصميم.

عند توفر تسجيلات لسنوات كثيرة من تصرف المجرى المائى فإنه يمكن استخدام طريقة إحصائية تسمى تحليل التكرار أو التردد (Frequency Analysis) وذلك لتقدير الفترات الزمنية للعودة أو لتكرار حالات الجفاف. نفس الطريقة يمكن استخدامها لتعيين ترددات أو العودة للعواصف الممطرة من واقع تسجيلات الترسيبات والفواصل الزمنية لحدوث ذلك. تعتبر بيانات أزمنة العودة من البيانات الهامة للمصمم بما يتطلب كيفية تعيين هذه البيانات.

لتوضيح الطريقة، سيتم تناول مثال مبسط لتعيين تدفقات حالة الجفاف فى المجرى. فى المثال الآتى : تستخدم فقط ٥ سنوات لتسجيلات التصرف. فى التطبيق العملى يلزم توفر تسجيلات لفترات زمنية أطول للحصول على نتائج ذات معنى، ولكن لأغراض التوضيح ولإظهار الامتداد بعد فترة التسجيل فيتم تناول المثال التالى:

مثال :

الآتى بيانات مسجلة عن تدفق مجرى مائى، قدر أدنى متوسط الأيام السبعة المتتالية لخمس سنوات تدفق (MA7 CD5).

أدنى - ٧ أيام

العام متوسط التصرف م³/ث

١٩٨٠ ٤,٤

١٩٨١ ٢,٨

١٩٨٢ ٤,٠

١٩٨٣ ٣,٤

١٩٨٤ ٥,٢

الحل :

أولاً، أعد ترتيب بيانات التدفق في شكل متناقص للقيمة الدرجة (قيمة - m) لكل تدفق، مع البدء بواحد ثم الزيادة بواحد على التوالي. يقدر الاحتمال لملاحظة التدفق المساوي أو الأعلى في أى عام قسمة الدرجة (m) على عدد السنين للتسجيل + (n + 1) في هذا المثال $n = 5$. في المعادلة من الاحتمالات:

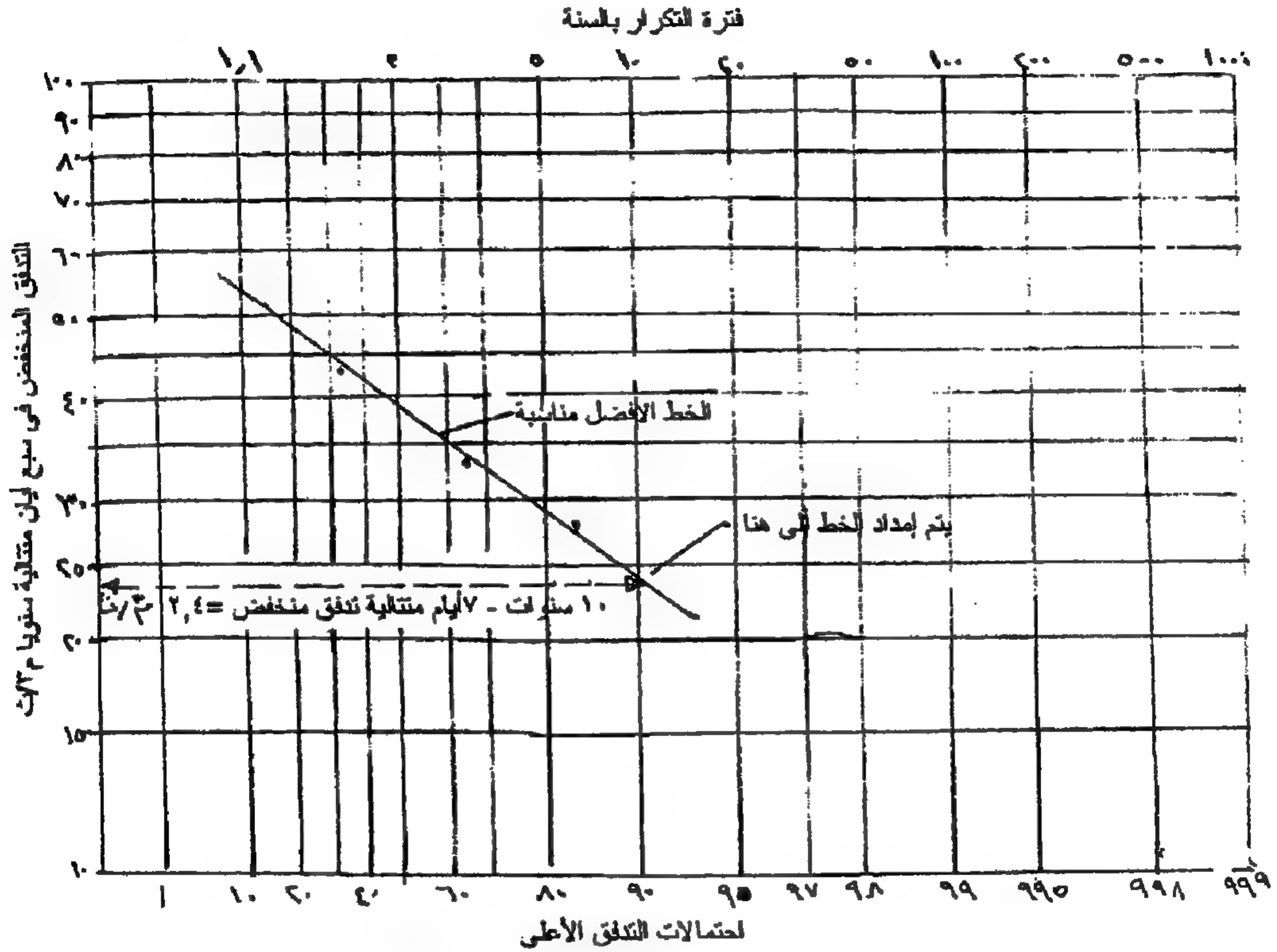
$$\frac{m}{(n + 1)} = P$$

لذلك يكون عندنا

التدفق المنخفض م³/ث	الدرجة (m)	الاحتمالات (P)
٥,٢	١	$٠,٦٧ = ٦/١$
٤,٤	٢	$٠,٣٣٣ = ٦/٢$
٤,٠	٣	$٠,٥٠٠ = ٦/٣$
٣,٤	٤	$٠,٦٦٧ = ٦/٤$
٢,٨	٥	$٠,٨٣٣ = ٦/٥$

عادة يتم توقيع البيانات الهيدرولوجية على نوع خاص من ورق الاحتمالات اللوغاريتمية (Logarithmic Probability paper). يتم توقيع النقاط عادة كخط مستقيم أو قريباً منه. التدفقات المنخفضة والاحتمالات المقابلة لها في هذه المسألة وقعت على الشكل

(٣/١٥). تم رسم الخط المستقيم الأكثر ملاءمة خلال النقط الموقعة ثم تم امتداده حتى قيمة احتمال ٩٠%. وهذا يوضح معدل التدفق على المحور الرأسي للمخطط الذي سوف يزداد تسعة أضعاف من عشرة في أى سنة تالية. على العكس احتمالات ملاحظة التدفق المنخفض (الجفاف الأكثر شدة) هو ١٠%. هذا التدفق لذلك يمثل تدفق (MA7CD10). كما هو موضح فى الشكل (٣/١٥) فإن (MA7 CD 10) لهذا المجرى (المبنى على خمس سنوات المحدودة جداً من التسجيل) يقدر عند ٢,٤ م^٣/ث.



شكل (٣/١٥) يستخدم ورق لوغار يتم الاحتمالات لتقدير تدفق الجفاف

(MA7CD10) فى مجرى أو نهر

٦- الخزانات : (Reservoirs)

عندما يكون تدفق المجرى المائى غير كافى لتحقيق الإمداد بالمياه وخاصة فى فترات الندرة أو الجفاف، فإنه يمكن بناء خزان للتغلب على هذه المشكلة. الخزان يحقق تساوى التدفق فى المجرى المائى ويحتجز الزائد من التدفقات أثناء فترة المطر الغزير للاستخدام أثناء فترات انخفاض التدفق فى المجرى. الخزان الذى يعمل أساساً للإمداد بالماء يسمى

خزان الحفظ (Conservation Reservoir). الخزان من هذا النوع يتم إنشاؤه على موقع طبيعي له طوبوغرافية مناسبة وذلك ببناء سد على المجرى المائى، بما يسمح بتكوين بحيرة صناعية.

خزانات الحفظ عادة ضخمة وتوفر طاقة لفترة زمنية طويلة من المناخ الجاف. الفيضان وإغراق الأرض بالبحيرة الصناعية يمكن أن يكون له تأثيرات بيئية واجتماعية كبيرة، والتي يجب أن تراعى بالإضافة إلى الاعتبارات الفنية والاقتصادية للمشروع.

وبسبب العوامل البيئية والاقتصادية، فإنه من غير المناسب بناء السد لسبب واحد فقط مثل الإمداد بالمياه. الخزانات توفر فى وقت واحد هذا وكذلك احتياجات أخرى مثل التحكم فى الفيضانات، والطاقة الهيدروكهربية، والاستجمام وهذه تسمى الخزانات متعددة الأغراض. أنواع أخرى من الخزانات تشمل خزانات الحفظ والتوزيع لتوزيع المياه، وخزانات الحجز للتحكم فى مياه العواصف الممطرة.

الطاقة التخزينية لخزان كبير يعبر عنها عادة بالمليار متر مكعب. صرف الخزان يمثل كمية المياه التى يمكن أن يوفرها الخزان خلال فاصل زمنى معين بدون أن يجف. العلاقة ما بين إنتاجية الخزان وطاقته التخزينية هى العامل الهام فى تصميمه.

طبقاً لتقرير حديث صادر من المؤتمر الدولى للسدود، فإنه يوجد حوالى ٨٠٠٠٠٠ سد فى العالم، من بين هذه حوالى ٤٥٠٠٠ تعتبر سدوداً عالية أكثر من ١٥ متر ارتفاع أو ذات طاقة أكثر من ٣ مليون متر مكعب. (حوالى نصف السدود الكبيرة فى العالم تم بناؤه لأغراض الرى أساساً). ويعتبر السد ذو المجارى أو الشعب الثلاث على نهر يانجيز فى الصين الذى صمم أساساً للتحكم فى الفيضان وتوليد الطاقة الكهربائية، أكبر سد فى العالم. ولكن لسوء الحظ فإنه عندما يمتلئ الخزان فإن الماء خلف السد العالى بارتفاع ١٨٠ متر يسبب غرق كثير من الأراضى والمتاع بما يسبب هجرة كثير من الناس وترك منازلهم.

مخطط التجميع الهيدرولوجى : (Summation Hydrograph)

لتعيين الحجم المطلوب لخزان الحفظ، فإنه يجب استخدام التسجيلات لتدفقات المجرى لسنين طويلة. عادة تصمم خزانات الحفظ لتوفير التصرف المطلوب أثناء الجفاف الذى يساوى أسوأ حالات الجفاف طبقاً للتسجيل. مخطط التجميع الهيدرولوجى أو الذى يسمى أحياناً مخطط الكتلة (Mass Diagram)، هو وسيلة تخطيطية مناسبة لتعيين حجم التخزين المطلوب. هذه التقنية موضحة فى المثال التالى.

مثال :

خزان حفظ يتطلب توفير سحب منتظم لتصرف ٦٠ مليون لتر في الشهر بدون أن يحدث له استنزاف. تسجيلات تدفق المجرى للسنوات ذات أدنى تدفق تم تلخيصها على أساس شهرى كالآتى :

الشهر	تدفق المجرى بالمليون لتر فى الشهر
يناير	٦٠
فبراير	١٠٠
مارس	١٨٠
إبريل	٢٠
مايو	١٥
يونيو	١٥
يوليو	٥
أغسطس	١٥
سبتمبر	١١٥
أكتوبر	٢٠٠
نوفمبر	١٨٠
ديسمبر	١٠٠

حدد الحجم المطلوب للخزان

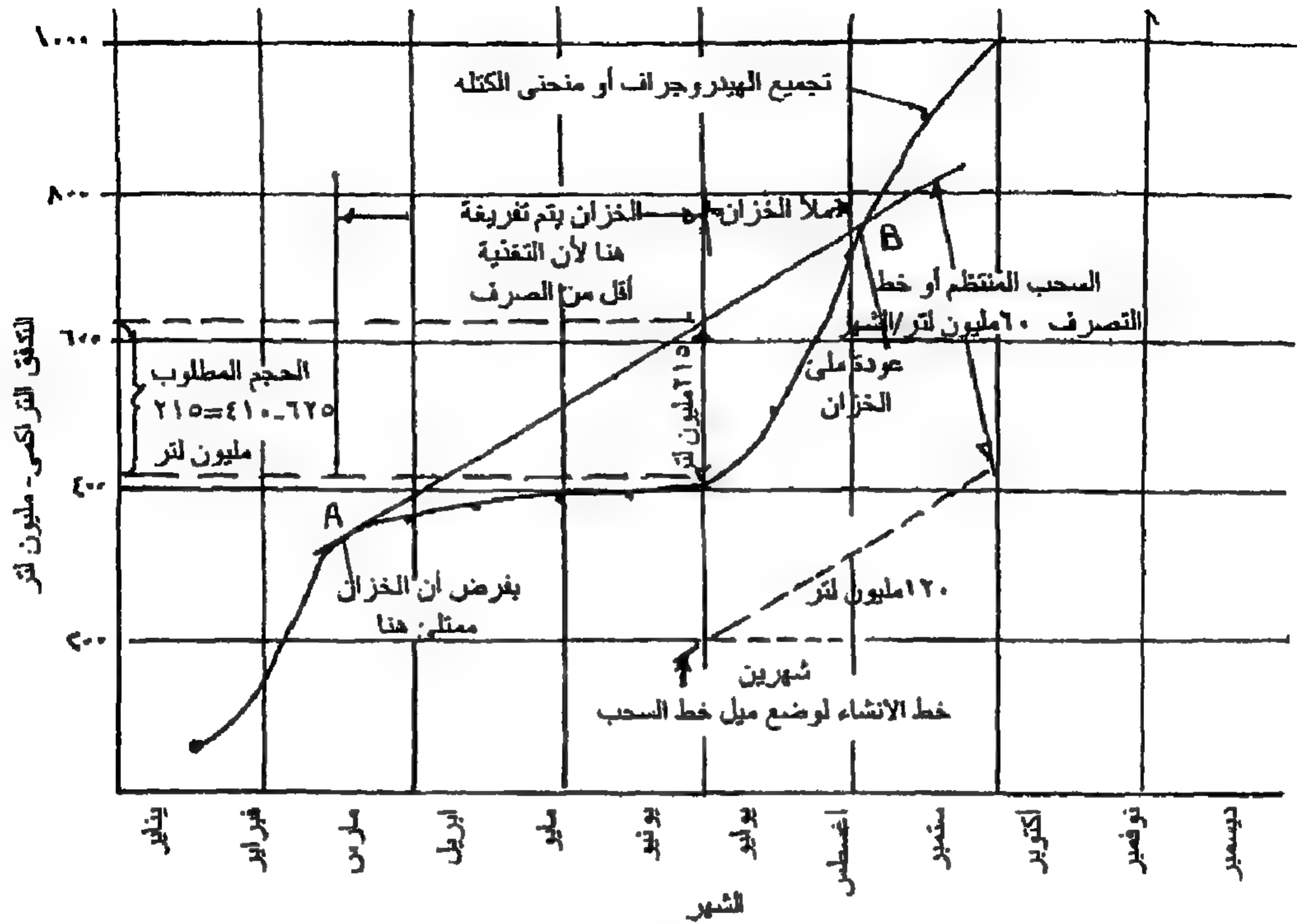
الحل :

أولاً، عين تدفق المجرى التراكمى الداخلى إلى الخزان على أساس شهرى. فمثلاً، فى شهر فبراير التدفق التراكمى سيكون $٦٠ + ١٠٠ = ١٦٠$ مليون لتر، وفى شهر مارس سيكون $١٦٠ + ١٨٠ = ٣٤٠$ مليون لتر. مجرد إضافة التدفقات لكل شهر. جهاز جدول التدفقات التراكمية الشهرية كالآتى :

الشهر =	يناير	فبراير	مارس	إبريل	مايو	يونيو	يوليو
التدفق التراكمى مليون/لتر =	٦٠	٦٠	٣٤٠	٣٦٠	٣٧٦	٣٩٠	٣٩٥
الشهر =	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر		
التدفق التراكمى مليون/لتر =	٤١٠	٥٢٥	٧٢٥	٩٠٥	١٠٠٥		

الفصل الثالث

والآن يمكن توقيع التدفقات التراكمية الشهرية على مخطط كما هو موضح في الشكل (٣/١٦). هذا المخطط هو نتيجة توقيع التدفقات التراكمية مع الوقت.



شكل (٣/١٦) تجميع الهيدروجراف للمثال السابق

ميل مخطط التجميع الهيدرولوجي أو منحنى الكتلة (Mass Curve) يمثل معدل التدفق الداخل في الخزان. لاحظ أن المنحنى مستقيم جداً أثناء شهور الصيف بسبب انخفاض تدفق المجرى خلال تلك الفترة ويمكن تمثل التصريف أو السحب المنتظم كخط مستقيم على المخطط، في هذه الحالة فإن خط السحب له ميل ٦٠ مليون لتر/ الشهر كما هو مبين. حيث يكون ميل منحنى الكتلة أكثر استقامة عن ميل خط السحب، فإنه يكون الماء الخارج من الخزان أكثر من الداخل إليه، والخزان يتم تفريغه. عندما يكون منحنى الكتلة (Mass Curve) أشد انحداراً عن خط السحب، فإن الماء المتدفق إلى الداخل يكون أكثر من المتدفق إلى خارج الخزان. ويكون الخزان في حالة ملء.

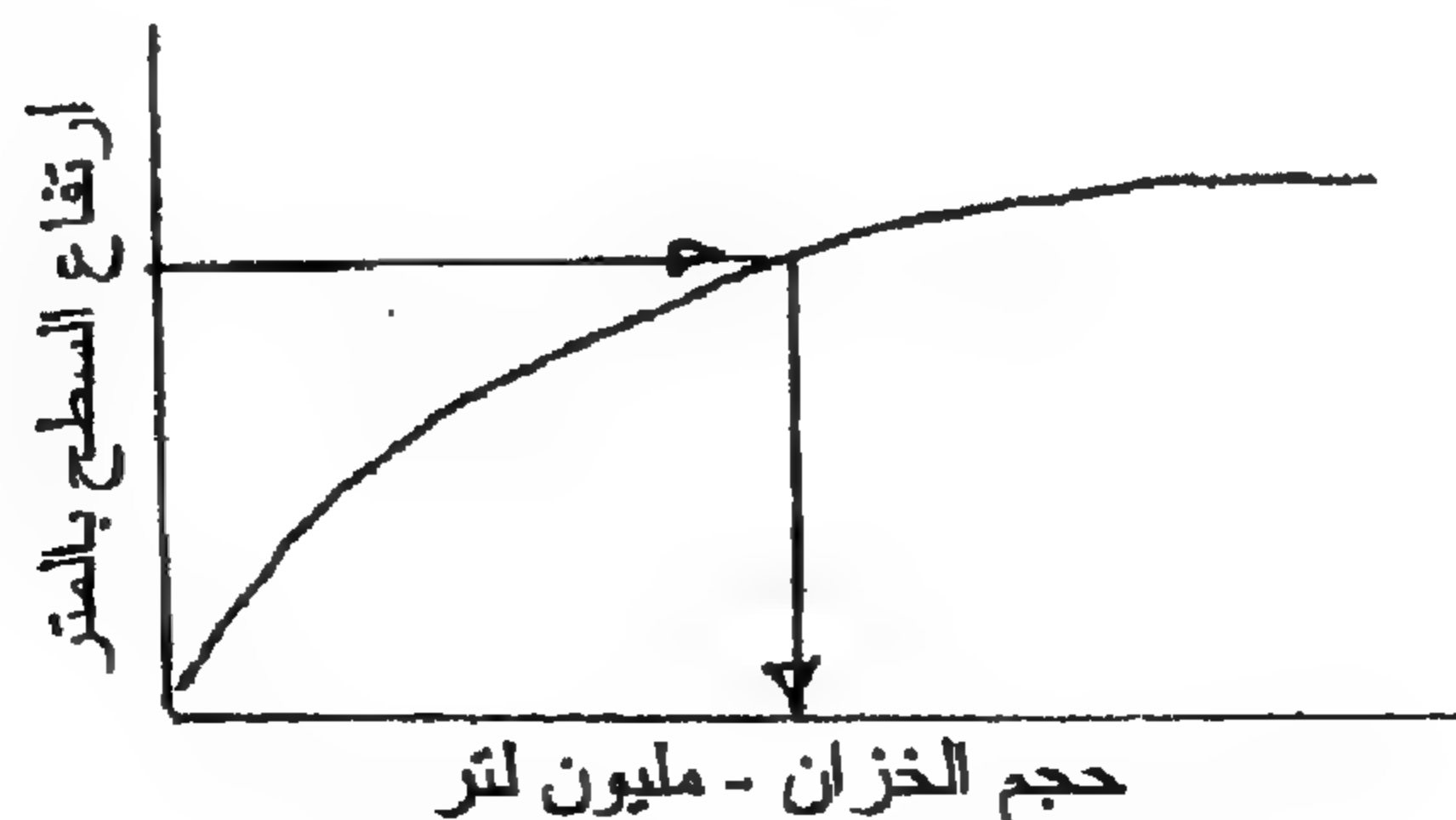
ارسم خط موازي لخط السحب ومماس لخط الكتلة عند النقطة (A) في الشكل (٣/١٦). النقطة (A) عموماً تمثل ذروة منحنى الكتلة حيث أنها متقعرية إلى أسفل. بفرض أن الخزان قد ملئ توا عند هذه النقطة، فإنه سيبدأ في الحال في خفض حجم الماء، بمجرد

تخطى النقطة (A) فإن معدل السحب يزيد عن معدل الدخول للمياه. ولكن بعد عدة أشهر يزداد انحناء منحنى الكتلة ويزيد معدل التدفقات الداخلة عن معدل السحب، ويبدأ حجم المياه في الزيادة. عند النقطة (B) حيث يتقاطع الخط مع منحنى الكتلة فإن الخزان يصبح عند أقصى طاقته مرة أخرى. المسافة الرأسية بين خط التصريف AB ومنحنى الكتلة تمثل حجم المياه خارج التخزين لتوفير التصريف.

في هذا المثال أقصى مسافة رأسية تقاس لتكون ٢١٥ مليون لتر، كما في الشكل (٣/١٥). وهذا هو أدنى حجم تخزين مطلوب لتأكيد أن التصريف المطلوب يمكن تحقيقه. نظراً لأن هذا الحجم ٢١٥ مليون لتر، كان قد تم تحديده لأسوأ سنين الجفاف على التسجيل، يكون من المعقول فرضية أنه خلال السنين ذات الترسيبات العادية وتدفقات المجري أن الخزان سوف يكون أكثر من مناسب لتوفير التصريف المطلوب. ولكن يظل احتمال حدوث جفاف أشد حدة. يمكن عمل تحليل التردد (Frequency Analysis) لتوفير تقديرات فترات العودة واحتمالات جفاف أكثر خطورة.

طاقة الخزان : (Reservoir Capacity)

أقصى حجم من المياه يمكن تخزينه في خزان يعتمد على ارتفاع قناة تصريف الفائض من مياه السد المكون للخزان وعلى طبوغرافية الأرض فوق التيار للسد. بالإضافة إلى هذا الحجم الكلي، يكون من المهم معرفة العلاقة ما بين الحجم وارتفاع سطح الخزان. المخطط لارتفاع المياه مقابل الحجم يسمى منحنى طاقة الخزان أو منحنى ارتفاع التخزين (Reservoir Capacity Curve or Elevation Storage Curve). أحد أشكال منحنى الطاقة موضح في الشكل (٣/١٧). باستخدام منحنى مثل هذا، فإنه يمكن تعيين حجم الماء في الخزان عند وقت معين بمجرد قياس الارتفاع لإمداد المياه.



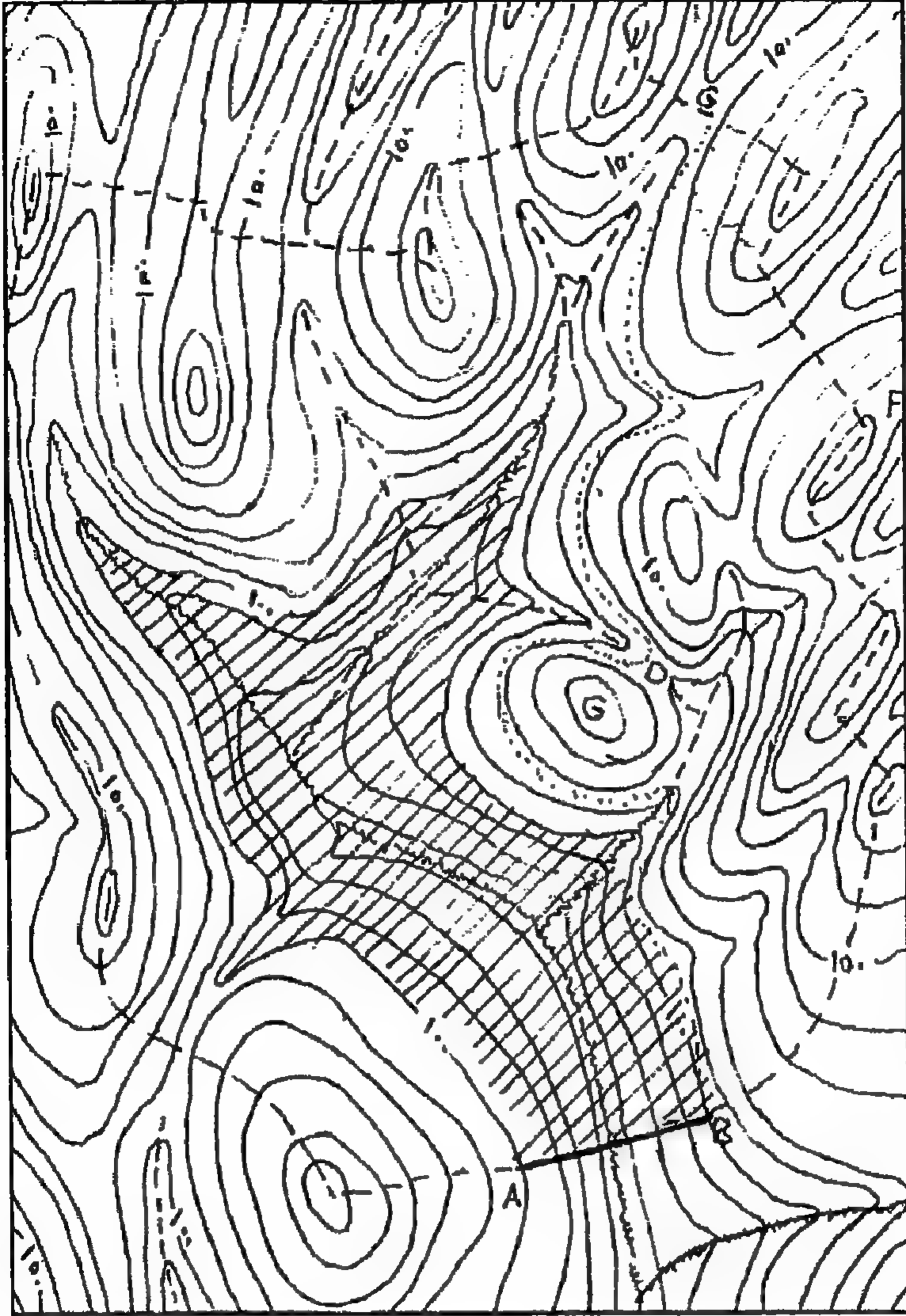
شكل (٣/١٧) منحنى لسعة الخزان

قياس حجم الخزان : (Measuring Reservoir Volume)

يمكن تقدير حجم الخزان من الخريطة الطبوغرافية. فمثلاً في الشكل (٣/١٨) إذا كان ارتفاع قناة التصريف للفائض من مياه السد (Spillway) عند (AB) ليكون ١٠٠ قدم، فإن الماء في الخزان سوف يغطي المساحة المحصورة بالكنتور ١٠٠ قدم، كما هو موضح بالخطوط المهشرة. حيث أن الفاصل الكنتورى هو ١٠ قدم على الخريطة، فإن إجمالى حجم المياه التى يحتوئها الخزان يمكن تقديرها بعدة طبقات بسمك ١٠ قدم مفصولة بأسطح المنسوب عند كل خط كنتور. عندئذ كل طبقة سوف تكون شكل صلب محاطة من أعلى ومن أسفل بواسطة أسطح مستوية متوازية. المساحة عند كل من هذه الأسطح يمكن قياسها بواسطة جهاز المقياس (Planimeter) وذلك بتعقب كل من خطوط الكنتور. بضرب متوسط المساحة لكل اثنين من المساحات بالسمك ١٠ قدم للطبقة يمكن عندئذ تقريب حجم كل طبقة. مجموع الأحجام، زائد تقريب الحجم أسفل أدنى كنتور، يوفر تقديراً لإجمالى حجم الخزان.

كل المجارى المائية والأنهار تحمل مواد صلبة عالقة فى شكل حبيبات إلى حد ما. هذه الحبيبات تحاول أن ترسب بفعل الجاذبية فى الخزان، مكونة رواسب راکدة. كل الخزانات تصبح ممثلة بالرواسب ولذلك فإن لها عمر تصميمى محدود أو فترة زمنية والتى خلالها يمكن أن تحقق الغرض من إنشائها.

الشكل (٣/١٩) يوضح تراكم الرواسب خلف السد. رغم أن ترسيبات الخزان لا يمكن منعها، إلا أنه يمكن التحكم فيها أو إبطائها. البوابات أسفل قمة الخزان التى تعمل على تصرف الرواسب قبل إعطائها الفرصة للترسيب نحو القاع.



شكل (٣/١٨) السد عند AB يكون خزان بارتفاع ١٠٠ قدم الموضح

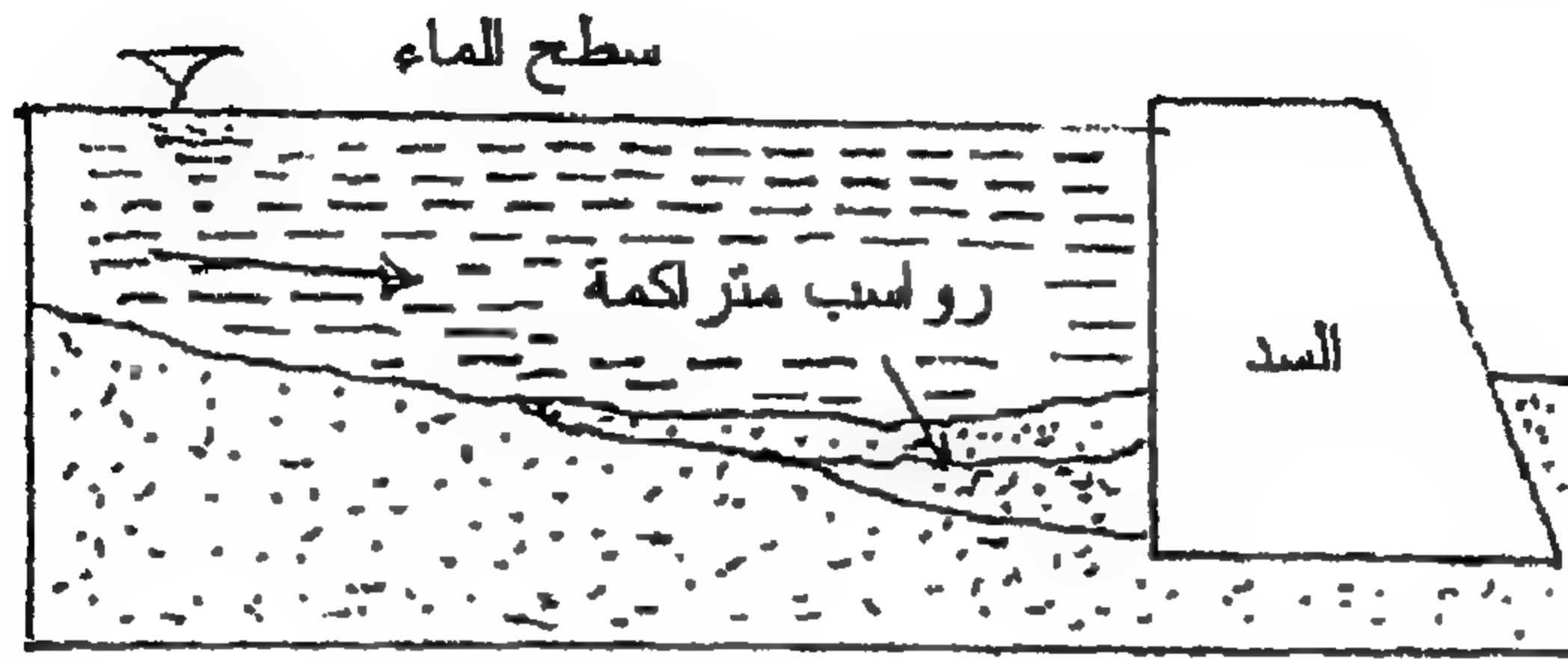
بالخطوط المتقاطعة الجسر الذي يحدد حدود الخزان موضح بالخطوط المشهورة.

الآثار البيئية :

بالإضافة إلى انخفاض العمر التصميمي للخزان فإن تراكم الترسبات خلف السد يمكن أن يسبب آثار بيئية غير مرغوب فيها على البيئة الحياتية تحت التيار. المثال الواضح لهذا، هو سد أسوان العالي في مصر، الذي أقيم على نهر النيل للتحكم في الفيضانات ولتوفير الطاقة الكهربائية. الفقد في الطفل الرملي (Slit) ومواد الغذاء للنبات

التي كانت ترسب في الحقول تحت التيار بعد الفيضان أحدثت اضطراباً في الحاصلات الزراعية في وادي النيل.

الأثار البيئية الأخرى للسدود تشمل التأثيرات الضارة على نوعية المياه ودرجة حرارة المياه وزيادة النيتروجين المذاب بما كان السبب في التأثير على الثروة السمكية في كثير من بلاد العالم.



شكل (٣/١٩) الترسيبات في الخزان تقلل من طاقته في تخزين المياه.

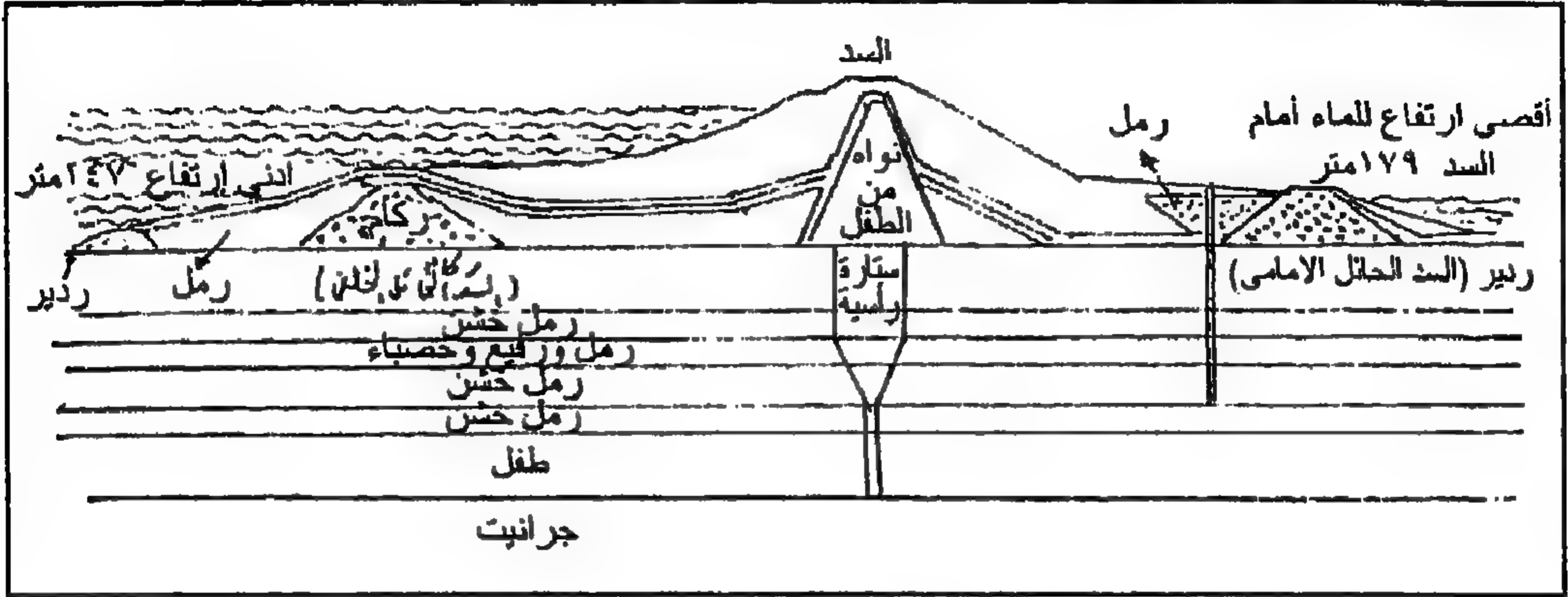
مع الوقت يصبح الخزان ممتلئاً بالرواسب.

السد العالي بأسوان وبحيرة ناصر :

١ - السد :

بنى السد العالي على مرحلتين تم في الأولى تحويل مجرى النهر وبناء سدين بعرض المجرى لكشف قاع النهر الذي كان سيبنى عليه جسم السد - وقد انتهى بناء هذين السدين وتحويل مجرى النهر في مايو سنة ١٩٦٤. وفي المرحلة الثانية تم بناء السد نفسه وهو صرح يبلغ عرضه عند قاعدته ٩٨٠ متراً يتكون من نواة من الطفل تغطيها طبقات من ركام الجرانيت والرمال، تدعمها ستاره أفقية من الرمال الناعمة المانعة لتسرب المياه وقد أدمج في جسم النواة سد التحويل الأمامي والخلفي اللذان كانا قد بنيا بغرض تحويل مجرى النهر الشكل (٣/٢٠). ويبلغ ارتفاع السد ١١١ متراً فوق قاع النهر (الذي يبلغ منسوبه ٨٥ متراً فوق سطح الأرض) وعرضه حوالي ٤٠ متراً عند القمة ويرسو السد العالي فوق ستارة رأسية لا تتفد منها المياه بعمق مائتي متر من أسفل النواة حتى صخر الأساس الجرانيتي. ويبلغ طول السد عند قمته ٣٦٠٠ متر منها ٥٢٠ متر بين ضفتي النيل ويمتد الباقي على هيئة جناحين على جانبي النهر، وبلغ طول الجناح الأيمن ٢٣٢٥ متر على الضفة الشرقية وطول الجناح الأيسر ٧٥٥ متراً على الضفة الغربية. وتقع محطة توليد القوى على الضفة الشرقية للنيل معترضة قناة التحويل التي تزود التربينات

بالمياه خلال ستة أنفاق متوسط طول الواحد منها حوالى ٢٨٢ متراً صممت بحيث تسمح لمرور أقصى تصريف للقناة بداخلها، وهو حوالى ١١٠٠ متر مكعب فى الثانية (حوالى مليار متر مكعب فى اليوم) - وبمحطة توليد الكهرباء التى بنيت عند مخرج الأنفاق ١٢ وحدة توليد مائية قدر كل منها ١٧٥,٠٠٠ كيلوات أى أن القدرة الإجمالية للمحطة هى ٢,١ مليار كيلوات تنتج طاقة سنوية قدرها ١٠ مليار كيلوات ساعة.



شكل (٣/٢٠) مقطع عرضى فى السد العالى

الخزان (بحيرة ناصر) : شكل (٣/٢٠)

بدأ الخزان فى سنة ١٩٦٤ عندما أدمج سد التحويل ناحية أعلى النهر فى جسم السد العالى. وقد صمم الخزان بحيث يكون أقصى ارتفاع لمياهه هو ٩٨ متراً فوق قاع النهر (أو ١٨٣ متراً فوق سطح البحر) وعند هذا المنسوب يمتد الخزان إلى مسافة ٥٠٠ كيلو متر حتى آخر الشلال الثانى مكوناً بحيرة هائلة تغطى النوبة المصرية بأكملها وجزءاً من النوبة السودانية بعرض يبلغ متوسطه حوالى ١٠ كيلو مترات. ويزيد هذا العرض عند مصبات الوديان والأخوار التى يمتد فيها. ومساحة الخزان عند منسوب امتلائه ٦٥٠٠ كيلو متر مربع وحجمه عند هذا المنسوب ١٦٨ مليار متر مكعباً منها ٣١ مليار تقع تحت منسوب ١٤٥ متر، فوق سطح البحر، وهى محجوزة للتخزين الميت أى لتجميع الطمى الذى سيحمله النهر إلى البحيرة و ٩٠ مليار متر مكعباً للتخزين الحى القابل للاستخدام السنوى بين منسوبى ١٤٥، ١٧٥ متراً فوق سطح البحر أما ما زاد عن ذلك فهو فاضار للوقاية ولاستخدامه فى سنوات الفيضان الواطئة - ويعرف الخزان باسم بحيرة ناصر فى الجزء المصرى وباسم بحيرة النوبة فى الجزء السودانى على أن معظم المؤلفين يسمون الخزان بحيرة ناصر عند الكلام عن الخزان كله.

وقد تم تعديل المنسوب الأعلى للخزان بعد بناء السد وإتمام رفع الخرائط الطبوغرافية التفصيلية لمنطقة السد وخفضه إلى ١٧٨ وذلك بسبب أن منطقة وادي توشكى التى تقع على الضفة الغربية للبحيرة بحوالى مائتى كيلو متر إلى الجنوب من أسوان تقل فى ارتفاعها عن المنسوب الأصلى الذى صمم الخزان عليه بما كان سيسبب قرب المياه منها.

٧- المياه الجوفية : (Ground Water)

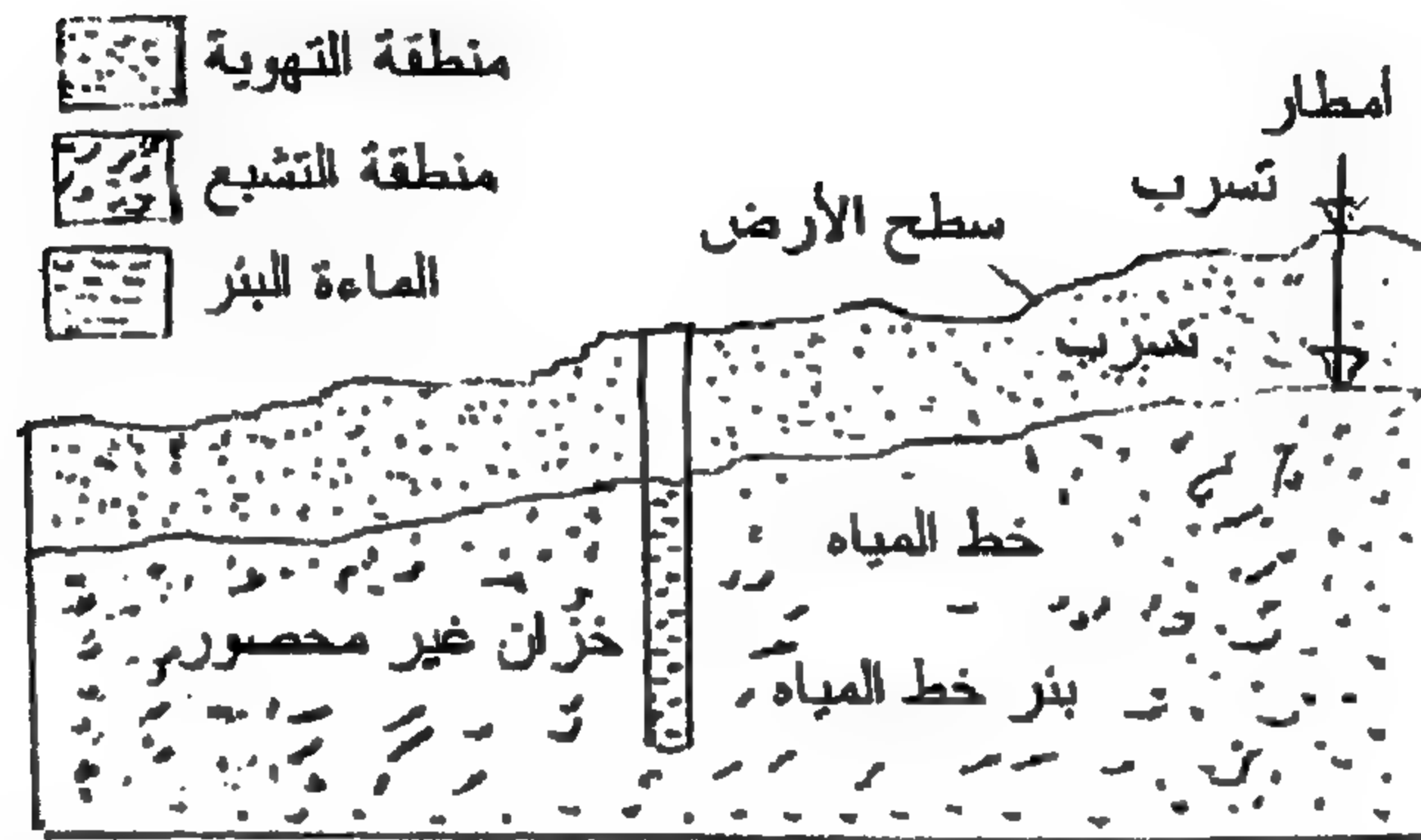
كما سبق توضيحه فإن جزءاً من ترسيبات الأمطار التى تقع على الأرض قد تتسرب من السطح إلى أسفل خلال التربة بفعل قوى الجاذبية وتصبح ما هو معروف بالمياه الجوفية. المياه الجوفية هى جزء بالغ الأهمية من الدورة الهيدرولوجية. حوالى نصف السكان فى الولايات المتحدة تحصل على مياهها من المصادر الجوفية، حيث توجد المياه الجوفية أكثر من المياه السطحية. قد يكون ضخ المياه الجوفية أحياناً غير اقتصادى فى الاستخدام، ولكن فى السنين الأخيرة زاد تلوث المياه الجوفية نتيجة عدم التخلص المناسب من المخلفات بما زاد من المشكلة.

بعد الترشيح الأولى للماء خلال سطح التربة، فإنها تتسرب إلى أسفل خلال طبقة من التربة تسمى منطقة التهوية (Zone of Aeration). وهذه طبقة من التربة حيث الفراغات الصغيرة بين حبيبات التربة الصلبة تكون ممتلئة جزئياً بالهواء وكذلك بالماء مع استمرار الماء فى التسرب إلى أسفل، فإنه يصل إلى منطقة التشبع (Saturation Zone) وهذه طبقة من التربة أو الصخر حيث كل الفراغات فى التربة أو التشققات فى الصخر تكون ممتلئة تماماً بالماء. ولكن رغم أن هذه الفراغات أو التشققات الصخرية صغيرة نسبياً، إلا أن الحجم الكلى للمياه الجوفية ضخم ذلك لأن التكوينات الجيولوجية التى يمكنها إحتجاز الماء متسعة وكبيرة جداً. المياه الجوفية يمكن اعتبارها خزان ضخم تحت الأرض. خط التقسيم بين منطقة التهوية ومنطقة التشبع يسمى خط المياه (Water Table) أو منسوب المياه الاستاتيكي. الحفر أو البئر بالعمق الكافى لاختراق منطقة التهوية سوف يمتلئ بالماء حتى منسوب ارتفاع خط المياه. وهذا موضح فى الشكل (٣/٢١).

ارتفاع خط المياه ليس ثابتاً، فهو يتوقف على الظروف المناخية، ويتغير موسمياً. خط المياه عموماً يكون أقرب إلى سطح الأرض فى العيون أو أثناء فترات سقوط الأمطار ويزداد عمقاً أثناء الجفاف. يمكن كذلك خفض خط المياه بالضخ كما سيتم توضيحه فيما بعد.

الخزانات الجوفية : (Aquifers)

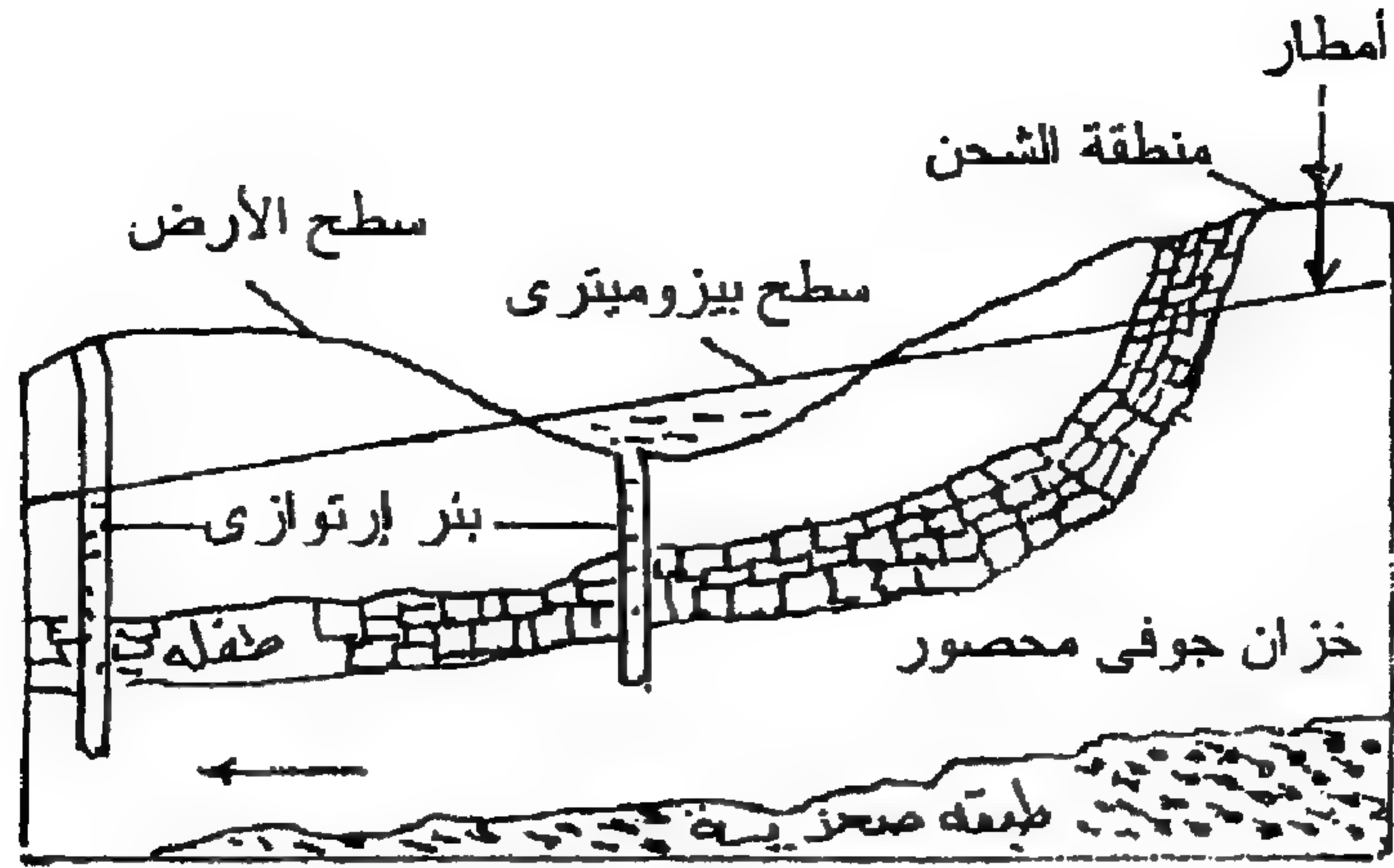
الخزان الجوفي هو طبقة من التربة أو من الصخر التي يمكن أن يتحرك خلالها الماء الجوفي بحرية نسبياً. بمعنى آخر هو الطبقة الجيولوجية التي يمكنها نقل المياه بكميات كافية لتوفير الاستخدام الاقتصادي من إمدادات المياه الجوفية. الخزانات الجوفية من الزلط والرمل ذات المسام والفراغات بين الحبيبات تنتج مياه أكثر مقارنة بالطفل أو الطفل الرملي الغير مسامي. التكوينات الصخرية قد تحتوى على تشققات كافية أو تصدعات بما يمكن من إنتاج كميات كافية من المياه.



شكل (٣/٢١) التربة أسفل خط المياه تكون مشبعة بالماء

الخزان الجوفي المحصور بين طبقتين غير مساميتين والتي تعيق تدفق المياه يسمى خزان جوفي محصور أو خزان جوفي إرتوازي. المياه في الخزان الجوفي المحصور تكون تحت ضغط هيدروستاتيكي. وهي ليس لها خط مياه حر. الخط التصوري الذي يمثل السطح البيزومتري يمكن استخدامه لتوضيح الارتفاع الذي عنده سيرتفع الماء في البئر الذي يخترق الخزان الجوفي. وهذا موضح في الشكل (٣/٢٢).

منطقة التغذية (إعادة الشحن) للخزان الجوفي هي حيث تتسرب مياه الأمطار لزيادة المياه التي تتدفق في الخزان الجوفي. كما هو موضح في الشكل (٣/٢٢) منطقة الشحن أو التغذية يمكن أن تكون بعيدة عن نقطة الاستخدام الحقيقية للماء. وهذه حقيقة هامة في التخطيط لاستخدامات الأراضي والتنمية الحضرية. تغطية منطقة أو مساحات الشحن بالرصف وخلافة سيعمل على إيقاف عملية التسرب ويقلل كمية المياه التي كان يمكن سحبها من الخزان الجوفي.



شكل (٣/٢٢) الماء فى خزان جوفى محصور أو إرتوازي يكون تحت ضغط هيدروستاتيكى.
الماء فى البئر الارتوازي يرتفع إلى مستوى السطح البيرومترى.

تدفق المياه الجوفية : (Ground Water Flow)

المياه الجوفية تكون فى حالة ثابتة من الحركة خلال المسام والتشققات فى الخزان الجوفى التى توجد فيها. خط المياه نادراً ما يكون مستوياً، فهو عموماً يتبع شكل سطح الأرض. تدفقات المياه الجوفية فى اتجاه أسفل المرتفع لميل خط المياه كما هو موضح فى الشكل (٣/٢٣). أحياناً يتقاطع خط المياه مع نقط منخفضة من الأرض، حيث تتسرب المياه إلى الخارج فى شكل عيون، بحيرات، أو مجارى مائية. كما تم مناقشة قاعدة التدفق المستمر فى المجرى المائى أن تدفقه يتواصل ويستمر بفعل تدفقات المياه الجوفية.

معدل حركة المياه الجوفية بفعل الجاذبية عادة يكون منخفضاً جداً. ويحده بمقاومة الاحتكاك للتدفق فى التربة والفتحات فى الصخور. تعتبر السرعة ١٨ متراً فى الدقيقة مرتفعة حتى فى التربة الرملية والزلطية. فى التربة الطفلية الصماء يمكن أن يكون التدفق منخفضاً حتى جزء من المتر فى العام.

سرعة تدفق المياه الجوفية هى دلالة لميل خط المياه ونفاذية التربة.

هذه العلاقة يعبر عنها بمعادلة تسمى قانون دارسى كالآتى :

$$V = K \times S$$

حيث : V = سرعة التدفق مليمتراً فى الثانية.

K = معامل النفاذية، مليمتراً/الثانية.

$$S = \text{ميل خط المياه.}$$

النفاذية هي خاصية المادة المسامية التي تسمح لها بنقل الماء ولها نفس الوحدات مثل السرعة. ميل خط المياه هو السقوط في الارتفاع مقسوماً على المسافة الأفقية، وهو رقم ليس له وحدات قياس (Dimention Less).

قانون دارسي هو الأساس لتحليل رياضية أكثر تعقيداً على هيدروليكا المياه الجوفية. إذا كانت حالات الخزان الجوفي معلومة، فإنه يمكن استنتاج بعض الأشياء مثل كمية المياه التي يمكن ضخها خارج البئر. ولكن حدود الرياضيات بما فيها قانون دارسي لتقدير حالات المياه الجوفية تتطلب ذكرها. لتطبيق المعادلة يكون من الضروري فرضية أن الخزان الجوفي عبارة عن مادة متجانسة والتي يمكن وصفها بمعامل واحد (K)، في الواقع فإن ترسيبات التربة الطبيعية أو صخور الخزان الجوفي نادراً ما تكون متجانسة على مساحات كبيرة. ورغم هذا فإن قانون دارسي له قيمة في عمل التقدير الأولي لمعدل تحرك المياه الجوفية. القيم التقديرية للمعامل (K) موضحة في الجدول (٣/٢)، وتطبيقاته في المثال التالي.

جدول (٣/٢) معامل النفاذية لأنواع التربة :

نوع التربة	K ملليمتر / الثانية
زلط	١٠ إلى ٤٠
رمل	٠,٠١ إلى ١٠
الغرين (الطمي) الرملي	٠,٠٠١ إلى ٠,٠٢
الطمي (الغرين) (Silt)	٠,٠٠٠١ إلى ٠,٠٠٥
الطفل (Clay)	١٠ ^{-٦} إلى ١٠ ^{-٨}

مثال :

أحسب سرعة تدفق المياه الجوفية في خزان جوفي له معامل نفاذية (K) = ٠,٠١ ملليمتر/الثانية. ميل خط المياه بمعدل واحد متر على مسافة ٢٠٠ متر.

الحل :

يتم حساب ميل خط المياه كالاتى : $S = 1 \text{ متر} \div 200 \text{ متر} = 0,005$

السرعة $V = S \times K = 0,005 \times 0,1 = 0,0005$ ملليمتر/الثانية

أو $V = 0,0005$ ملليمتر فى الثانية $\times 3600$ ثانية فى الساعة $\times 24$ ساعة فى اليوم $= 422$ ملليمتر فى اليوم $= 0,43$ متر فى اليوم.

الآبار: (Wells)

الطريقة العادية لسحب المياه الجوفية هى باختراق الخزان الجوفى بواسطة بئر عمودى ثم ضخ الماء إلى السطح. طرق أخرى تشمل العيون الطبيعية أو قاعة الرشح المستطيلة (Infiltration Gallery) أو سرداب الترشيح وهذا يتكون أساساً من عدة مواسير أفقية متشعبة إلى الخارج من ماسورة مركزية ذات قطر كبير أو قد تكون مواسير التجميع بأى شكل هندسى وتكون المواسير الأفقية مثقبة فى نصف قطرها العلوى.

الآبار يمكن أن تتشا بطرق مختلفة، طبقاً لعمق وطبيعة الخزان الجوفى. بئر الحفر هو عبارة عن حفر ضحل حتى عمق حوالى ١٠ أمتار والذى يخترق خزان جوفى غير محصور، ويكون عادة مبطن بالطوب أو الأحجار لتثبيت الحوائط الجانبية. آبار الحفر ليست مصادر مياه مستقلة بسبب التغيرات الموسمية فى عمق خط المياه وتعرض البئر للتلوث. ويلاحظ أن هذه الآبار مازالت تستخدم فى بعض المناطق الريفية والزراعية، ولكن المواصفات الصحية الحديثة تمنع إنشاءها الذى يكون الغرض منه الإمدادات المنزلية بالمياه.

الآبار حتى عمق ٢٠ متراً يمكن إن تتشا فى التربة اللينة بدفع المصفاة فى الأرض. المصفاة عبارة عن مقطع من الماسورة مثقب وبنهايتها وصلة عمياء قد تكون مدببة. يتم الوصول إلى العمق المطلوب بتوصيل وصلات من المواسير بالمصفاة مع دفعها لأسفل. هذا النوع من الآبار يستخدم عادة لتجفيف الحفر للإنشاءات وليس لتوفير إمدادات المياه.

الآبار العميقة، بعمق أكثر من ٤٠ متر والتي تستخدم عادة لإمدادات المياه المنزلية. وهذه يمكنها اختراق الخزان الجوفى لعمق أكبر حيث استقلالية إنتاج المياه والحصول على نوعية مياه أفضل مقارنة بالآبار الضحلة. هذه الآبار العميقة تكون عادة بقطر ٤ - ٦ بوصة (١٠٠ إلى ٣٠٠ ملليمتر). وهذه يتم حفرها باستخدام تقنيات الحفر الدوارة أو بالتكسير.

دائماً يتم تبطين الآبار العميقة بماسورة معدنية تسمى القيسون (Casing) (تستخدم القيسونات أحياناً من البلاستيك مثل البى فى سى). الفراغ الخارجى المحيط بالقيسون يتم ملؤه بالمونة الأسمنتية (Grouting). كلا من القيسون ومادة التحشية الأسمنتية تمنع تسرب المياه الملوثة من سطح الأرض أو من طبقات التربة العليا من دخول البئر وتلويث المياه. يتم تنفيذ لحام صحى عند قمة البئر لحماية نوعية المياه. فى الخزانات الجوفية حيث تكون التربة الحاملة الغير مدمجة (مفككة)، يتم عادة وضع مصفاة بئر مثقبة عند قاع القيسون لتصفية الماء من الرمل الطفلى ومن الرمال الرقيقة. هذه الملامح الرئيسية لمكونات إنشاء البئر موضحة فى الشكل (٣/٢٤).

الطلمبات التربينية متعددة المراحل (أحد أنواع طلمبه الطرد المركزى) تستخدم عادة فى الآبار العميقة لرفع المياه. طلمبة البئر يمكن أن تعمل بمحرك كهربى أو أن تكون متصلة عند منسوب سطح الأرض بطلمبة غاطسة متصلة بنظام إدارة أو بواسطة محرك غاطس خاص متصل مباشرة بالطلمبة.

يسمى ارتفاع خط المياه فى البئر قبل الضخ بالمنسوب الاستاتيكي. عند ضخ البئر يبدأ مستوى الماء فى البئر فى الهبوط أسفل المنسوب الاستاتيكي كما هو موضح فى الشكل (٣/٢٤). الفرق فى الارتفاع بين المنسوب الاستاتيكي ومنسوب الضخ يسمى الانخفاض (Draw Down). سطح الانخفاض لخط المياه أو قمع الانخفاض (Cone of Depression) يتكون حول البئر أثناء الضخ.

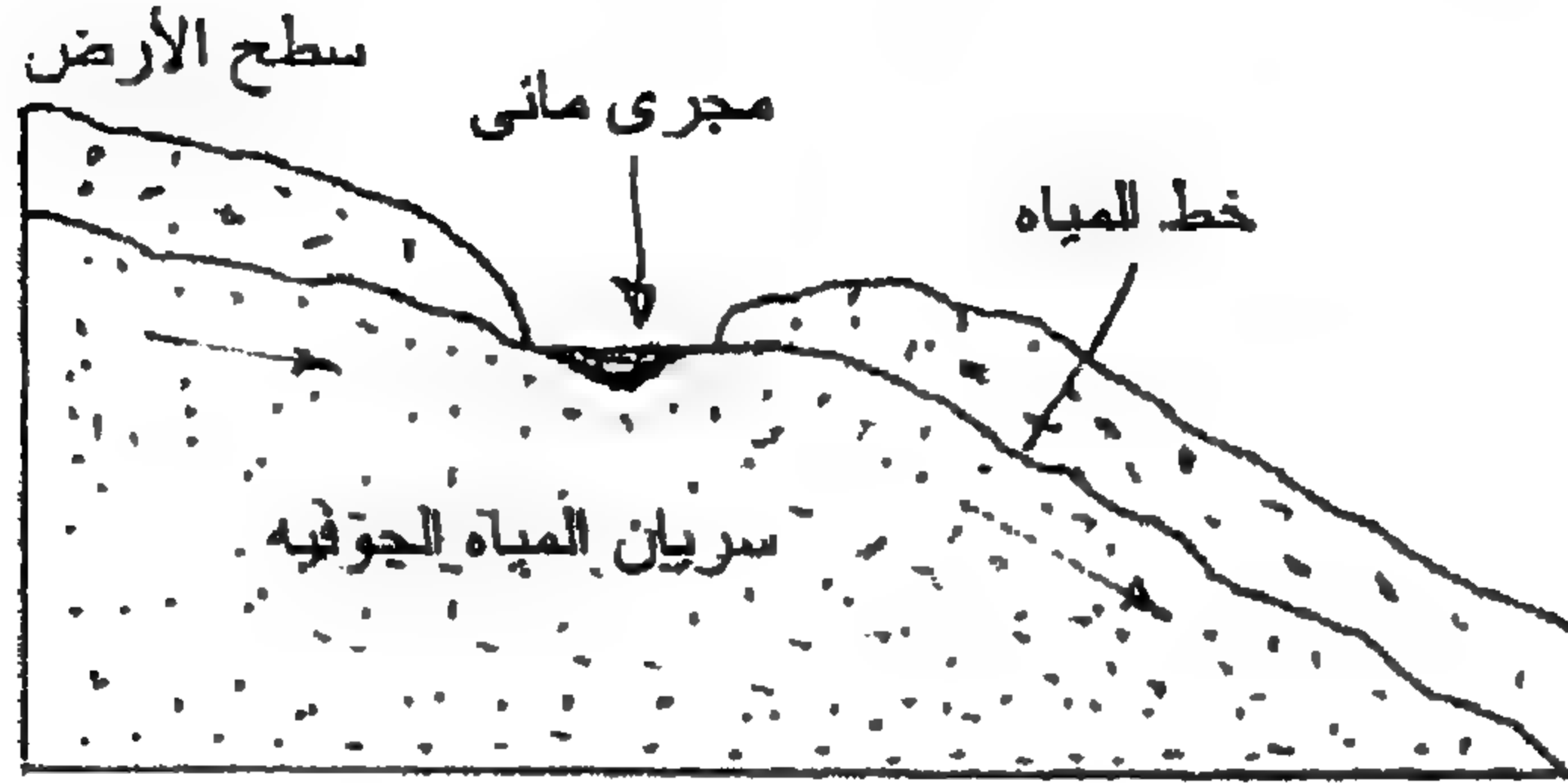
مع زيادة المسافة بعيداً عن البئر فإن ميل الانخفاض يبدأ فى الاستواء، بدون تأثير ملحوظ على منسوب خط المياه الاستاتيكي. المسافة الأفقية من البئر إلى المنطقة حيث لم يتأثر خط المياه بفعل الضخ من البئر تسمى نصف القطر المؤثر للبئر (Radius of Influence). هذه المصطلحات موضحة فى الشكل (٣/٢٤).

يزداد الانخفاض ودائرة التأثير (Circle of Influence) مع زيادة معدل الضخ. من هذا يتضح أنه عند الضخ يكون الانخفاض قليلاً فى حالة التربة ذات النفاذية العالية ويكون عميقاً فى حالة التربة ذات النفاذية الضعيفة. وبالمثل سيكون نصف قطر التأثير أو دائرة التأثير أكبر فى حالة التربة الحاملة الأكثر مسامية.

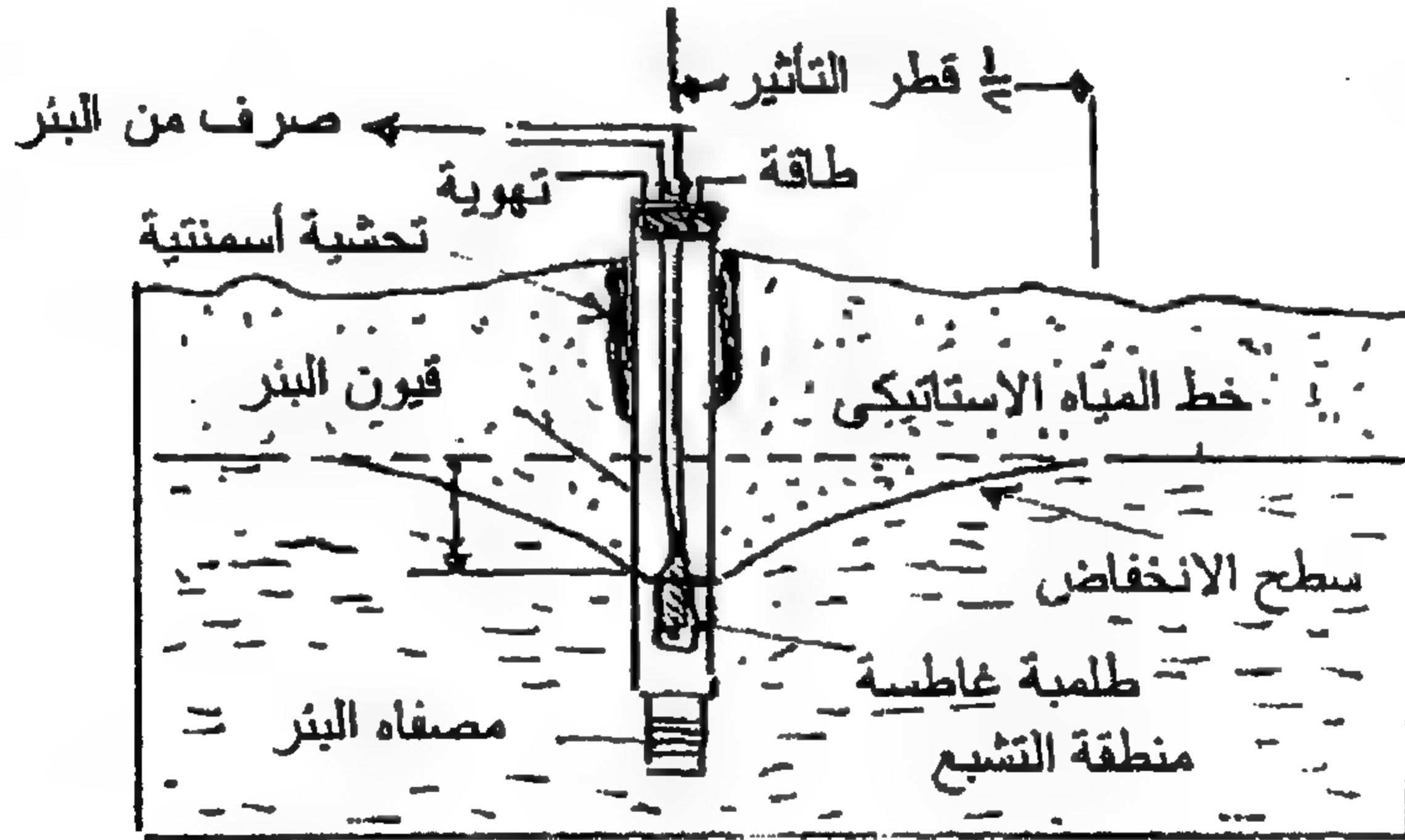
التصرف الآمن للبئر هو المعدل الذى يمكن عنده سحب المياه بدون الضخ الجفاف للبئر. كلما زاد الانخفاض زاد التصرف. العلاقة بين التصرف والانخفاض للبئر تسمى الطاقة النوعية (Specific Capacity) فمثلاً إذا كان الانخفاض فى البئر ٥٠ متراً عندما

الفصل الثالث

كان منسوب السحب ٥٠٠ متر مكعب في الساعة، فإن الطاقة النوعية تكون $٥٠ \div ٥٠٠$ = ١٠م^٣/الساعة لكل متر من الانخفاض. إذا كان الانخفاض ٢٥ متراً بدلاً من ٥٠ متراً فإنه يمكن تقدير تصرف البئر ليكون ١٠م^٣/الساعة/المتر $\times ٢٥$ متراً = ٢٥٠ متراً مكعب/الساعة. قطر البئر له تأثير قليل على التصرف، مضاعفة القطر تزيد التصرف بحوالي ١٠% فقط.



شكل (٣/٢٣) تدفق المياه الجوفية ببطء خلال التربة أحياناً تنطلق خارج التربة في شكل عيون أو إلى قناة مجرى مائي، بما ينتج عنه ثبات مستوى التدفق في المجرى المائي أثناء فترة الجفاف



شكل (٣/٢٤) مخطط لبئر خط المياه موضحاً

الانخفاض الذي يحدث أثناء السحب بالضغط

يجب تنمية الآبار قبل وضعها في الخدمة والاستخدام، وذلك لإزالة الطفلة الرملية والرمال الرفيعة الملاصقة لمصفاة البئر. تنمية البئر تزيد الإنسدادات في التربة الحاملة منتجة مرشح طبيعي له حبيبات أكبر حول مصفاه البئر، وتوفر التدفق للمياه الخالية من

الرمال أو الطفل الرملى نحو البئر. فى أحد الطرق المستخدمة لتنمية البئر والتي تسمى الاضطراب (Surging)، حيث يستخدم كباس عبارة عن قرص معدنى بقطر أقل قليلاً من القطر الداخلى لقيسون البئر مجهزا للرفع والإنتزال فى البئر. فى التربة الحاملة للمياه الجوفية التى تتكون من الرمال الرفيعة، عندئذ يلزم توفير طبقة ترشيح لهذه الرمال حول المصفاة، وهذه تسمى الظهير الزلطى (Gravel Packing) أو التحشية الزلطية ويتم تنفيذها على الفراغ الدائرى ما بين مصفاة البئر وقطر الحفر بالزلط.

بعد تنمية البئر، يتم عمل اختبار الضخ لتعيين ما إذا كان يمكنه صرف الكمية المطلوبة من الماء. عادة يتم ضخ البئر لمدة لا تقل عن ٦ ساعات بمعدل يساوى أو يزيد عن معدل التصريف المطلوب. يتم الحصول على ثبات للانخفاض عند هذا المعدل، وأن المنسوب الاستاتيكي الأسمى تتم استعادته خلال ٢٤ ساعة بعد توقف الضخ. أثناء فترة الضخ هذه، يتم أخذ العينات واختبارها بيولوجيا وكيمياويا.

الفصل الرابع

المخلفات الصلبة المنزلية

أى المواد التى يلقى بها لعدم الاستفادة منها ولأنها غير مطلوبة تعتبر مخلفات صلبة. من الوهلة الأولى، يبدو أن التخلص من المخلفات الصلبة مشكلة بسيطة جداً وأرضية. فى العصر الحديث حيث الليزر والكمبيوتر وارتداد الفضاء، يبدو من الصعب التصور أن جمع القمامة سوف يسبب تحدى كبير. ولكن عوامل كثيرة تجعل من المخلفات الصلبة مشكلة معقدة لضخامة نسبة المجتمع الصناعى الحديث المسرف فى الإنفاق.

أولاً، لا شك أن التخلص الغير صحيح للمخلفات الصلبة يمكن أن يسبب تدمير وإتلاف بيئى. كل التلوث يمكن أن ينتج من الحرق الغير مناسب للمخلفات الصلبة، وتلوث التربة وكذلك تلوث المياه السطحية والمياه الجوفية والذي يمكن أن يحدث بسبب التخلص من المخلفات الصلبة فى مدافن الردم الأرضى (Land Fills) الغير منشأة بطريقة صحيحة. تلك الأنواع من التلوث يمكن أن تؤدي إلى العديد من الأمراض للإنسان، بما يهدد الصحة العامة.

توجد علاقة أخرى بين التخلص الغير مناسب من المخلفات الصلبة والصحة العامة. المخلفات الصلبة يمكن أن تأوى الحشرات والزواحف، والتي يمكن أن تعمل كناقل للأمراض المعدية مثل التيفود، والطاعون والدوسنتاريا. بالإضافة إلى أن المواد الصلبة التى يتم التخلص منها فى مقالب مفتوحة تسبب العديد من المضايقات مثل الرائحة، مخاطر الحريق، المخلفات التى تحملها الرياح. لذلك فإن التخلص من المخلفات الصلبة فى المقالب المعرضة أصبح ممنوع وغير مصرح به فى الدول المتقدمة، حيث تصمم الطرق الحديثة للتخلص من المخلفات الصلبة لمنع انتشار المرض والمحافظة على البيئة. وإن كان انتقال الأمراض بسبب التخلص الغير صحيح من المخلفات الصلبة مازال يشكل مشكلة خاصة فى البلاد النامية.

كذلك مما يعقد مشكلة التخلص من المخلفات الصلبة، هو الكميات الضخمة التى ينتجها المجتمع وصعوبة وجود مواقع جديدة للمعالجة والتخلص. بالإضافة إلى التحديات الفنية التى يجب مواجهتها فإنه توجد مشكلة كبيرة اجتماعية واقتصادية.

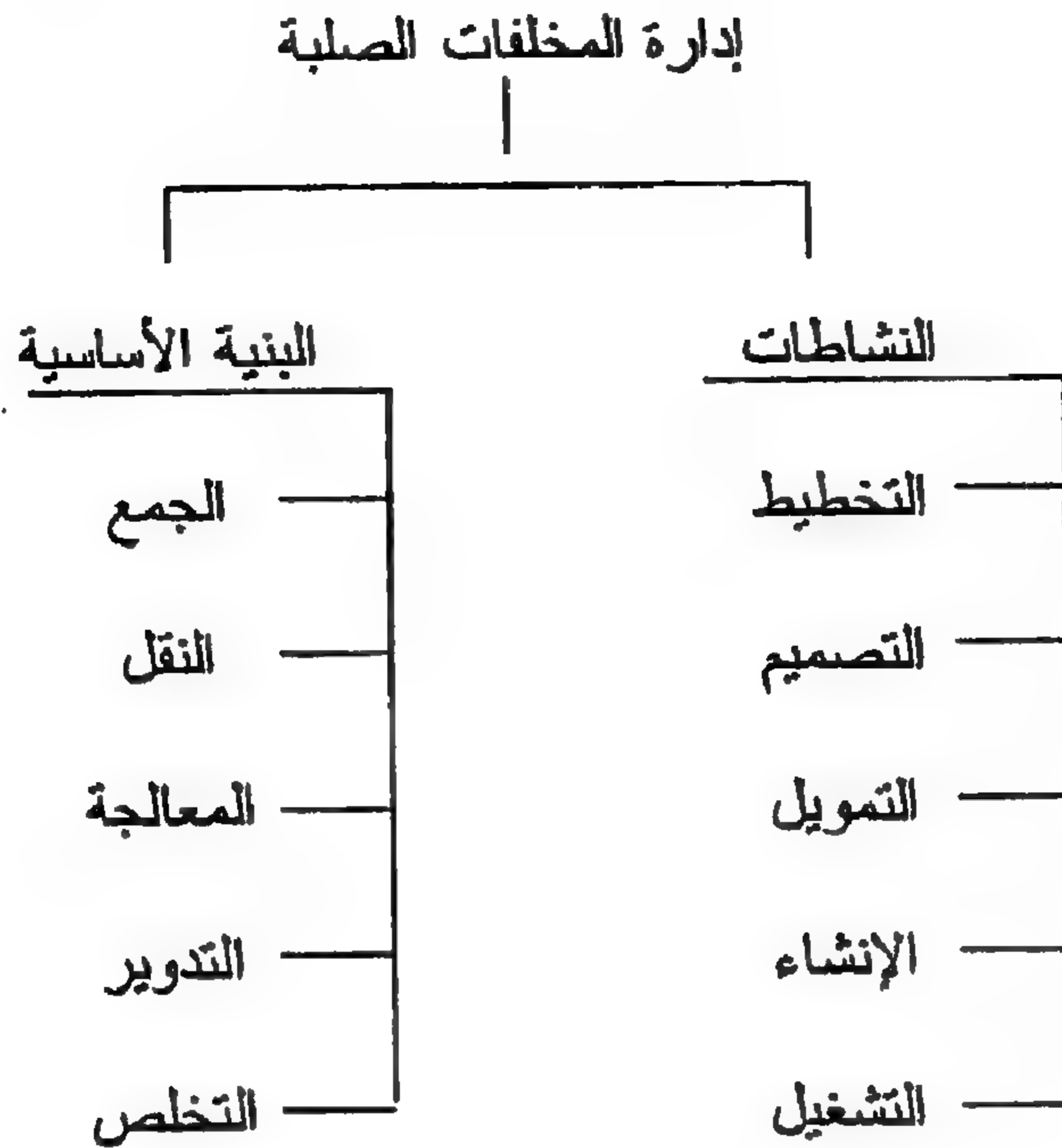
المخلفات الصلبة المنزلية عموماً لا تعتبر خطرة، ولكن أنواع معينة من المخلفات التجارية والصناعية تكون سامة، أو قابلة للاشتعال أو للانفجار أو ما شابه ذلك من الخطورة ويمكن أن تسبب ضرراً مباشراً وفورياً للإنسان. أو البيئة عند التخلص منها بطريقة غير سليمة.

المخلفات الخطرة تحتاج إلى طرق خاصة للتداول والنقل والمعالجة والتخلص والتي تختلف عن تلك المطلوبة للمخلفات الغير خطرة المنزلية.

بعض المنتجات للاستخدام المنزلي (البويات، المنظفات، المبيدات، وما شابه ذلك) قد تحتوى على مكونات خطرة، من المهم أن يتم التخلص من هذه المواد الخطرة بطريقة آمنة مع عزلها عن مسار المخلفات الصلبة المنزلية.

من الواضح، أن المشاكل المتعلقة بالمخلفات الصلبة تتعدى مجرد التخلص منها. بالإضافة إلى الكثير من الصعوبات الفنية والبيئية فإن المشاكل الاقتصادية والإدارية والسياسية يجب أن يتم حلها. الجهود لإعلام كل تلك المشاكل يشار إليها عادة بعملية إدارة المخلفات الصلبة. فى هذا المجال، فإن الإدارة تتضمن التخطيط والتصميم والتمويل والإنشاء وتشغيل وسائل الجمع والنقل والمعالجة والتدوير ثم التخلص النهائى من مادة المخلفات الصلبة المتبقية، أنظر الشكل (٤/١). نشاطات الإدارة الكلية للمخلفات الصلبة سيتم مناقشتها فى هذا الفصل. المخلفات الخطرة ستناقش فى الفصل الخامس.

شكل (٤/١) نشاطات إدارة المخلفات الصلبة



والآن أصبح التخلص من المخلفات الصلبة جزءاً من الخطة المتكاملة لإدارة المخلفات. هذا يعني أن طرق الجمع والمعالجة والاستعادة، والتخلص النهائي سوف تتداخل مع بعضها البعض للوصول إلى هدف واحد. فمثلاً، التخلص المشترك للمخلفات مع حمأة الصرف يمكن أن يكون جزءاً من الخطة المتكاملة لإدارة المخلفات. التدوير (استعادة المواد وإعادة استخدامها) يقوم بدور كبير في هذه الخطط، وقد أدخلت تقنيات التدوير وإعادة الاستخدام منذ عام ١٩٧٠ وما قبلها، والآن فإن كل خطة لإدارة المخلفات الصلبة تشمل مالا يقل من مكون للتدوير وإعادة الاستخدام. برغم هذا التقدم فإنه مازال (ومن المحتمل أن يظل دائماً) الحاجة إلى التخلص من بعض المخلفات في الأرض، حيث يستخدم الردم الأرضي مع مراعاة حماية نوعية المياه الجوفية من التلوث.

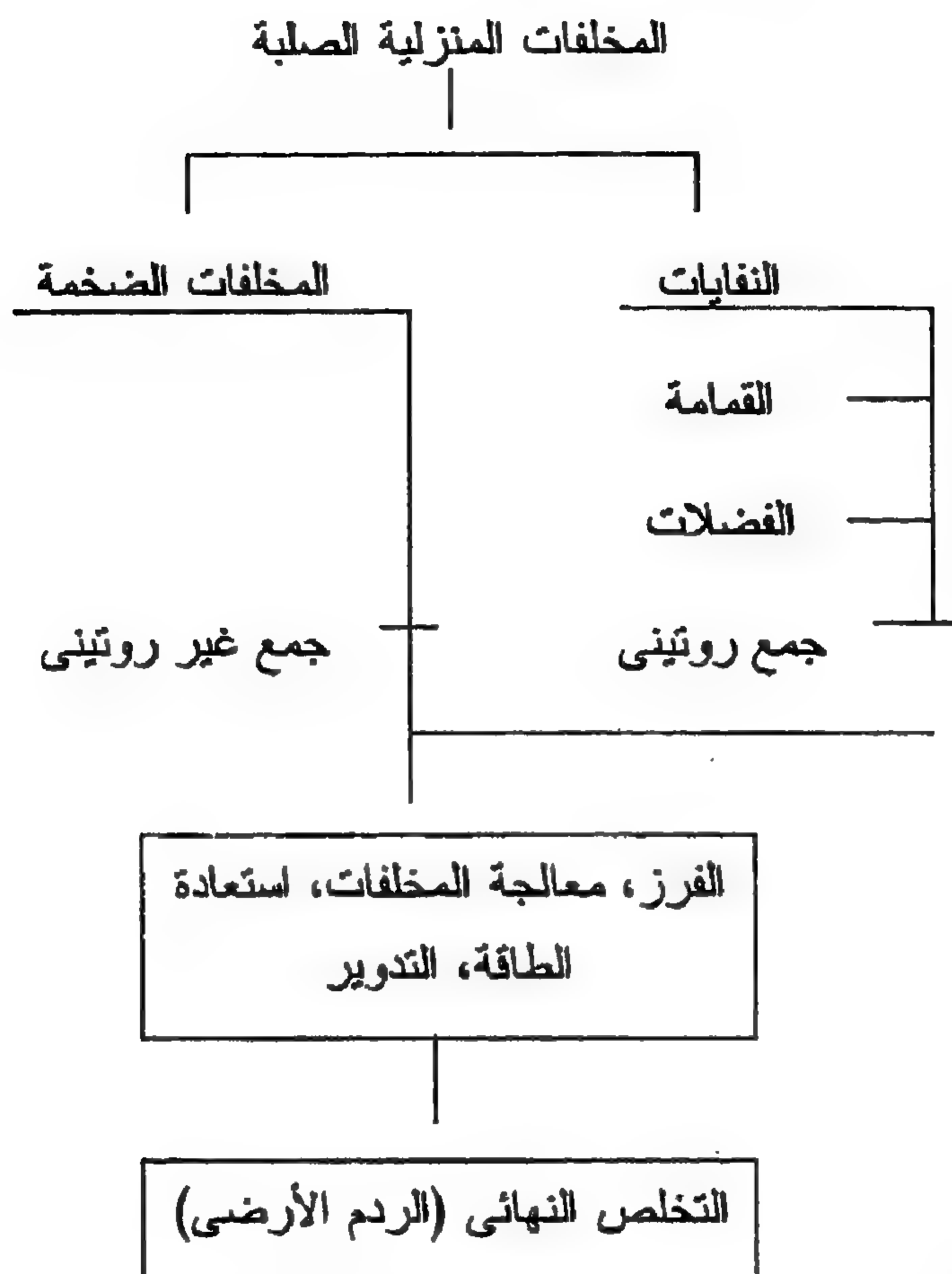
١- خواص المخلفات الصلبة :

المخلفات الصلبة يتم تصنيفها أو تجميعها بعدة طرق. هذه التقسيمات المختلفة ضرورية لإمكانية التوجيه بطريقة مؤثرة للتحديات المعقدة لإدارة المخلفات الصلبة. العوامل المرتبطة بمعدلات إنتاج المخلفات، مصادرها وكمياتها وطرق وصف خواص المخلفات كما سيتم مناقشته.

أنواع المخلفات الصلبة :

المصطلح المخلفات الصلبة المنزلية يستخدم عادة لوصف معظم المخلفات الصلبة الغير خطرة من المدينة أو القرية التي تحتاج إلى الجمع الروتيني والنقل إلى موقع المعالجة أو التخلص. مصادر المخلفات المنزلية الصلبة تشمل المنازل، المؤسسات التجارية، والمؤسسات (مثل المدارس) وكذلك المؤسسات الصناعية. ولكن المخلفات الصلبة المنزلية لا تشمل المخلفات من العمليات الصناعية، مخلفات الإنشاءات والتفجيرات، حمأة الصرف الصحي، مخلفات المناجم، المخلفات الزراعية. المخلفات الصلبة المنزلية تشمل نوعين من المواد وهما النفايات (Refuse)، الفضلات (Rubbish). النفايات تشمل القمامة والفضلات. القمامة (Garbage) وهي خليط من نفايات لا فائدة منها، تحتوي على المخلفات الغذائية القابلة للتعفن وذات القدرة العالية على التحلل، مثل قطع الخضراوات واللحوم. النفايات تحتوي في معظمها مواد جافة غير قابلة للتعفن مثل الزجاج، المطاط، الصفائح المعدنية، والمواد ذات التحلل البطيء أو ذات القابلية البطيئة للاشتعال مثل الورق، المنسوجات، الأغراض الخشبية. في الواقع، حوالي ١٠% من المخلفات فقط هو قمامة، ومعظمها نفايات. المخلفات الضخمة (Tarsh) والتي تشمل المواد التي تتطلب تداول خاص ولذلك لا يتم جمعها بطريقة روتينية مثل الأثاث المنزلي القديم (كراسي، مراوح، .. الخ) حتى جذوع الأشجار الضخمة. التقسيم لمختلف أنواع المخلفات المنزلية الصلبة الغير خطرة موضح في الشكل (٤/٢).

شكل (٤/٢) التقسيم العام للمخلفات المنزلية الصلبة



طبقاً لتقديرات الوكالة الدولية لحماية البيئة فإنه ما بين ٥٥% إلى ٦٥% من المخلفات المنزلية يكون مصدره الوحدات السكنية، ٣٥% إلى ٤٥% من المؤسسات التجارية والمدارس. العوامل المحلية والإقليمية مثل المناخ ومستوى الأنشطة التجارية تساهم في هذه التغيرات.

مكونات المخلفات الصلبة :

المخلفات المنزلية الصلبة تحتوي على العديد من المواد. بعضها يمكن حرقه، والبعض لا يمكن حرقه، وبعضها يمكن استعادته وتدويره والبعض الآخر لا يمكن استعادته. إذا كان البديل الوحيد لإدارة المخلفات هو التخلص في حفر الردم الأرضي الصحية، فإن نسب الزجاج، الورق، القمامة والمواد الأخرى لا تكون ذات أهمية. ولكن

معرفة المكونات المعينة لسريان المخلفات يعتبر خطوة هامة لوضع خطط إدارة المخلفات.

مخلفات الإنشاء والتعمير :

وهذه لا تعتبر من المخلفات المنزلية ولكنها من المخلفات الصلبة. وعادة يتم استعادة وتدوير الكثير من هذه المواد الصلبة مثل المواد المعدنية، الأخشاب.

استراتيجية إدارة المخلفات المنزلية الصلبة :

استراتيجية إدارة المخلفات تشمل ثلاثة مكونات مرتبة كالاتى طبقاً لأهميتها :

١- خفض من المنبع.

٢- التدوير وإعادة الاستخدام.

٣- التخلص.

١- خفض من المنبع (منع المخلفات) : التدوير وإعادة الاستخدام، لمكونات المخلفات المنزلية الصلبة المختلفة. وأخيراً التخلص النهائى والذى يشمل الحرق (يفضل مع استعادة الطاقة) وكذلك الردم فى الحفر الأرضية.

٢- جمع المخلفات الصلبة : (Solid Waste Collection)

من بين تكاليف الإنفاق على إدارة المخلفات المنزلية الصلبة، حوالى ثلثى الإنفاق يوجه إلى تكلفة جمع المخلفات. الجمع يشمل التجميع المؤقت، النقل إلى سيارة الجمع، ثم الانتقال إلى الموقع حيث تتم عمليات الفرز والمعالجة والتخلص النهائى للمخلفات. الفرز والمعالجة والتخلص النهائى هى من مشاكل التحدى ولكن الجمع هو المرحلة الأكثر فى التكلفة ذلك بسبب كثافة العمالة. بالإضافة إلى أن تقنيات الجمع الصحيح تعتبر ذات أهمية لحماية الصحة العامة، التأمين، والحفاظ على البيئة.

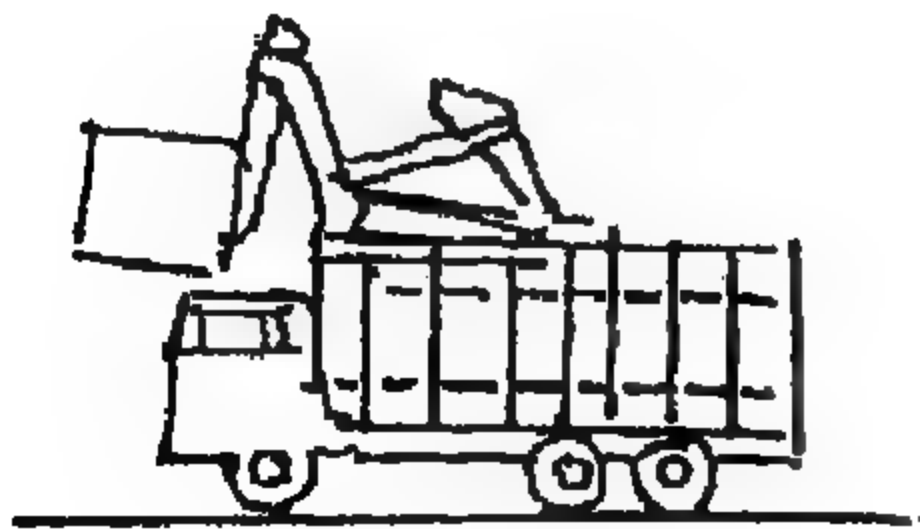
جمع المخلفات الصلبة يمكن أن يكون من مسئولية المحليات، حيث تستخدم عمالة ومعدات لهذا العمل. أحياناً يكون الأوفر اقتصادياً استخدام شركات خاصة لتعمل طبقاً للتعاقد مع المحليات. فى بعض المجتمعات يتم دفع مقابل من أصحاب المنازل إلى القائمين بالجمع وغالباً ما تكون شركة خاصة أو مقاول جمع. مهما كان التنظيم الإدارى

فإنه من الضروري التنظيم والتخطيط الجيد، والتشغيل وكذلك من الضروري القرارات المنظمة لنظام الجمع.

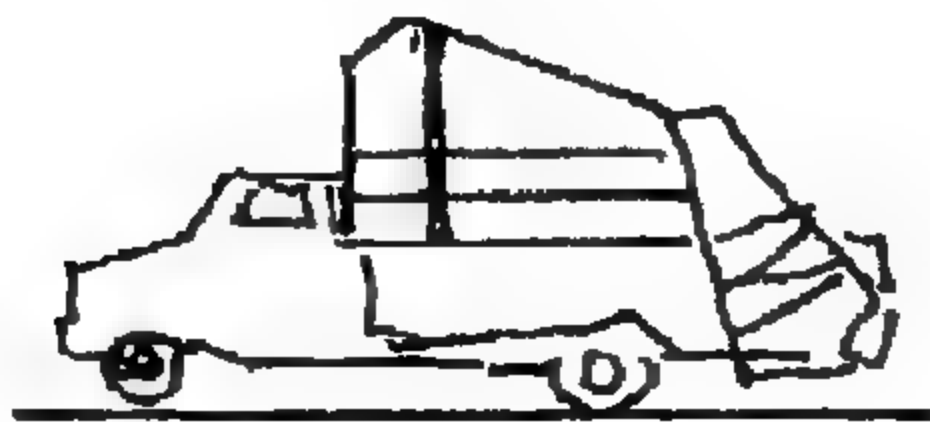
التجميع المناسب في الموقع له أهمية خاصة للمخلفات المنزلية المحتوية على كمية كبيرة من القمامة القابلة للتعفن. الحاويات المحكمة ضد الماء، والمقاومة للتآكل وذات غطاء مناسب تقلل من حدوث تجمع الحشرات والزواحف، والروائح الكريهة. وقد أوصت وكالة حماية البيئة أن حدود الوزن هو ٧٥ رطلاً للحاويات بالتفريغ اليدوي للمخلفات، الحاويات ذات السعة ١١٥ لتراً من المعدن المجلفن أو البلاستيك تعتبر مؤثرة. حاويات أكبر يمكن أن تستخدم مع عربات الجمع الميكانيكية. الحاويات الضخمة يتم استخدامها حيث الأحجام الضخمة من المخلفات من المراكز التجارية والمطاعم والفنادق.

عربة الجمع والطاقل يقومون بأهم عنصر في نظام الجمع. عربات الجمع تكون من النوع المقل والذى يقوم بعملية الدمج. طاقة الجمع يمكن أن تتغير ولكن المثالي هو حوالي ٢٤ متراً مكعباً. الدمج في عربة الجمع يقلل حجم المخلفات المفككة. وزن المخلفات المفككة قد يزن من ٠,٧٥ إلى ١,٥ كيلو نيوتن/ المتر المكعب (١٣٠ إلى ٢٦٠ رطلاً في الباردة). بعد الدمج في العربة، فإنها يمكن أن تزن حتى من ٢ إلى ٤ كيلو نيوتن/ المتر المربع (٣٥٠ إلى ٧٠٠ رطل/ الياردة المربعة). بمعنى آخر، الدمج في مركبة الجمع يخفض حجم المخلفات بما قد يصل إلى ٨٠% (الحجم سوف يزداد ثانياً إلى حد ما عند إزال المخلفات في موقع المعالجة والتخلص).

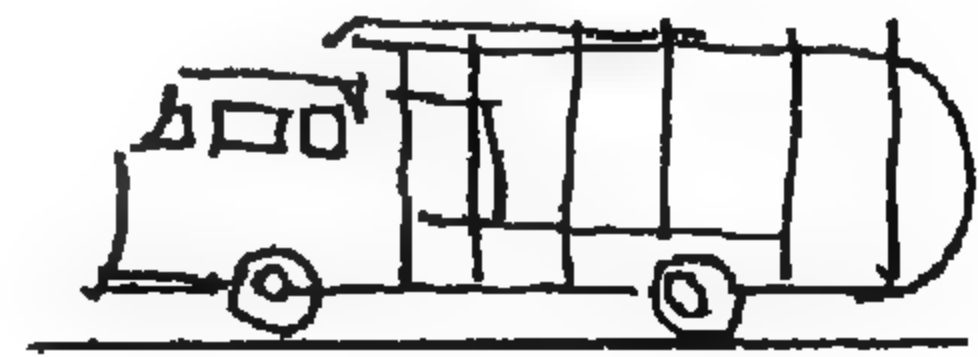
معظم مركبات جمع المخلفات هي إما ذات تحميل أمامي أو جانبي أو خلفي مع الدمج، رغم أن بعض أنواع المركبات المقللة وبدون دمج قد تستخدم أحياناً، نموذج لمركبات الجمع موضح في الشكل (٤/٣) الطاقم قد يتراوح ما بين فرد إلى أربع أفراد.



تحميل أمامي



تحميل خلفي



تحميل جانبي

شكل (٤/٣) مركبات جمع المخلفات ويمكنها

وتقليل الحجم للمخلفات بنسبة حوالي ٥٠%.

فى كثير من المجتمعات يتم تدوير مواد معينة. حيث يقوم السكان بعملية الفصل أى بفصل الزجاج، المعدن، الورق، البلاستيك من باقى المخلفات. المواد القابلة للتدوير يتم عندئذ جمعها فى عربة جمع منفصلة لمنع احتواء المخلفات على المكونات المقابلة للتدوير. عربات جمع مواد التدوير لها غرف تحميل جانبية لمختلف المواد القابلة للتدوير. كما سيتم مناقشته لاحقاً.

أحد أكثر الطرق تأثيراً بخصوص خفض تكاليف جمع المخلفات هى بتعظيم طريق الجمع، أقصى طريق هو ذلك الذى ينتج عنه أقصى كفاءة لاستخدام العمالة والمعدات. الخواص المختارة لأفضل طريق تشمل الآتى :

١- عربات الجمع لا تسير مرتين فى نفس الشارع، أى أن ممرات الجمع يجب ألا تتطابق.

٢- جمع المخلفات من الشوارع المزدحمة والطرق لا يحدث أثناء الصباح أو بعد الظهر فى ساعات الذروة.

٣- الجمع لا يتم فى اتجاه أسفل الارتفاعات لتوفير الوقود..

٤- نقطة البدء يجب أن تلتصق جراج عربة الجمع، ونقطة الجمع النهائية يجب أن تكون قريبة ما أمكن من مكان نهاية رحلة العربة المملوءة (أى محطة النقل، المحرقة، مصنع المعالجة، أو الردم الأرضى).

محطات النقل : (Transfer stations)

دائماً ما يكون مجدياً لمركبات الجمع المنفردة نقل المخلفات إلى مصنع معالجة المخلفات أو إلى موقع التخلص النهائى، خاصة إذا كان مكان نهاية الرحلة ليس قريباً من التجمع السكنى الذى تم جمع المخلفات منه. لحل مشكلة نقل المخلفات هذه بكفاءة فإنه يمكن استخدام محطة نقل أو أكثر.

محطة النقل هى التسهيلات التى عندها تتجمع المخلفات الصلبة من مركبات الجمع الفردية إلى المركبات الضخمة، مثل المركبات ذات الجرار. من الناحية الاقتصادية يفضل استخدام القليل من هذه المركبات الضخمة. نقل المخلفات الصلبة المدمجة خلال المسافة الطويلة من نهاية مكان الرحلة الأولى إلى مكان التصنيع أو المعالجة أو التخلص النهائى، ذلك أفضل من قيام كل مركبة جمع بعمل هذه الرحلة. مسافة واحدة بطول حوالى ٢٠ كيلو

متر تعتبر أقصى حد لعربة جمع المخلفات المنفردة، ولكن خلال الدراسات الهندسية ومقارنة التكاليف والعائد لتعيين الحاجة لمميزات محطة النقل.

محطة النقل الواحدة يمكن أن تكون ذات طاقة من أقل من ١٠٠ طن إلى أكثر من ٥٠٠ طن من المخلفات في اليوم، طبقاً لحجم المجتمع. توجد طريقتين أساسيتين للعمل، إما التفريغ المباشر أو تفريغ التخزين (Storage Discharge). في محطة النقل للتفريغ للتخزين يتم أولاً تفريغ المخلفات من عربات الجمع إلى حفرة تجمع أو على رصيف ضخم. عندئذ تستخدم لوادر لدفع أو لتحميل المخلفات في وحدات النقل بالجرارات.

في محطة التفريغ المباشرة كل عربة مخلفات تقوم بالتفريغ مباشرة في عربات النقل الضخمة. الجرارات عادة تكون ذات طاقة ٧٥ متراً مكعباً وتستوعب مخلفات الجمع من أربع عربات للجمع إذا لم تكن مدمجة وحتى ٨ عربات للجمع إذا كانت المخلفات مدمجة. محطة التفريغ المباشر تحتاج إلى مستويين للتنظيم، كما هو موضح في الشكل (٤/٥). ويمكن استخدام الحفارة الخلفية المجهزة بتجهيزة دمك لدمج المخلفات التي تم إلقاءها في الجرار المفتوح مباشرة. تستخدم أجناب وأسقف ميكانيكية للقلل للحصول على مركبة مقفلة أثناء النقل.

بالإضافة إلى الجرارات ذات السقف المكشوف، يوجد نوعين من جرارات الدمج المقفلة. في أحدهما يكون عنصر الدمك من مكونات الجرار حيث يدمك المخلفات وقذفها فيما بعد في مصنع المعالجة أو موقع التخلص. النوع الثاني هو المثبت (Anchored) لفصل وحدة الدمك (الدمج) أثناء عملية التحميل، هذه الجرارات يجب إعدادها بتجهيزات النقل (Conveyors) أو القذف لتفريغ الشحنة من المخلفات الغير مدموكة. نوع آخر من تصميمات محطة النقل، يسمى محطة حفرة الدفع، وهذه تشمل حفرة ذات مكبس عند أحد النهايات وقادوس عميق عند النهاية الثانية. بعد امتلاء الحفرة بواسطة عربات الجمع، فإن المكبس يدفع المخلفات نحو حفرة القادوس والذي يقوم بتحميل الجرارات.

طرق جمع أخرى :

في الدول الأوروبية بعض المنازل يتوفر بها طاحن للقمامة، هذه التجهيزة تقلل كمية مخلفات الطعام. وهذا النوع من المخلفات المطحونة يمكن صرفها في شبكة الصرف الصحي حيث يمكن لمحطات المعالجة تداول الحمل الزائد، بما يتطلب دراسة هندسية لتأكيد ذلك في بعض نظم المعالجة.

نظم الجمع المتطورة تتضمن النقل الهوائي في مواسير. في النظام الهوائي يتم دفع المخلفات بالتفريغ (Suction) خلال مواسير تحت الأرض إلى محطة معالجة مركزية. جمع المخلفات في ديزنى لاند في فلوريدا تم بهذا النوع. فهو يفضل عن عربات الجمع المسببة للإزعاج بالصوت وسوء المنظر. ولكن يلزم نظم التحكم المعقدة والمحاسب والمحركات عالية السرعة للعمل في هذا النظام، هذا بالإضافة إلى أن تكاليف الإنشاء مرتفعة. نظام الجمع الهوائي تم كذلك إنشاؤه في بعض التجمعات الصغيرة في السويد واليابان. السويد كانت المدينة الأولى التي استخدمت النقل الهوائي للمخلفات في خطوط مواسير ضخمة، (٣٠٠ ملميتراً)، من المسكن إلى المحرقة والتي توفر كذلك طاقة للتدفئة. برغم التقنية العالية في الجمع الهوائي للمخلفات ونقلها، إلا أنها مجدية فقط في أماكن خاصة ولا يحتمل أن تكون بديلاً لما هم قائم في المستقبل المنظور.

٣- إعداد المخلفات الصلبة : (Solid Waste Processing)

المخلفات الصناعية المنزلية يمكن معالجتها أو إعدادها مثل التخلص النهائي. إعداد المخلفات الصلبة يحقق فوائد عديدة أولاً، فهو يمكن من خفض الحجم الكلي ووزن مادة المخلفات التي يلزم التخلص النهائي منها. خفض الحجم يساعد في خفض الحاجة من المساحات الأرضية، كما يقلل من التكاليف الكلية لنقل المخلفات إلى موقع التخلص النهائي.

بالإضافة إلى خفض الحجم والوزن، فإن إعداد المخلفات يغير من شكلها ويحسن من خواص تداولها. الإعداد يمكن كذلك أن يفيد في استعادة الموارد الطبيعية الكامنة في مادة المخلفات للتدوير وإعادة الاستخدام. أكثر الطرق المستخدمة في عمليات معالجة المخلفات تشمل الحرق، التقطيع، الطحن، وتحزيمها في شكل حزم وبالات، وتحلل المادة العضوية بالردم الصحي (compositing). رغم أن الحرق يقلل إلى حد كبير حجم المخلفات، إلا أنه عملية إعداد وليس عملية التخلص النهائي، حيث ما يزال المطلوب الردم الأرضي للتخلص النهائي من الرماد والمخلفات الأخرى المتبقية.

الحرق : (Incineration)

أحد الطرق المؤثرة لخفض الحجم والوزن للمخلفات الصلبة المنزلية هو بحرقها، في فرن حرق مصمم بطريقة جيدة تحت ظروف مناسبة من درجة الحرارة والتشغيل. عملية الحرق هي عملية مكلفة ذلك لأنه يلزم توفير معدات حماية الهواء من التلوث. كذلك فإن

وحدة الحرق تتطلب إشراف فنى وتقنى عالى وعمالة ماهرة للتشغيل الصحيح ولأعمال الصيانة. فوائد الحرق عموماً تزيد عن السلبيات، فى اليابان يتم حرق (٧٥% من المخلفات المنزلية الصلبة)، الحرق هو عملية كيميائية حيث يتم اتحاد المواد القابلة للاحتراق مع الأكسجين حيث غالباً ما يكون ناتج التفاعل هو ثانى أكسيد الكربون والماء. ويسمى التفاعل الكيميائى هذا بالأكسدة، وينتج عنه انطلاق طاقة حرارية، أى الحرارة. غاز ثانى أكسيد الكربون وبخار الماء ينطلقوا فى الجو. للأكسدة الكاملة، فإن المخلفات يجب خلطها مع الأحجام المناسبة من الهواء، مع المحافظة على درجة الحرارة المناسبة لفترة زمنية مناسبة. النموذجى أن درجات حرارة الفرن هى حوالى ٨١٥°م والمخلفات يجب أن تظل فى الفرن لمدة حوالى ساعة. بالنسبة لبعض أنواع المخلفات فإن درجة الحرارة حتى ١٤٠٠°م يمكن الوصول إليها أثناء الحرق.

الحرق يمكنه أن يقلل حجم المخلفات إلى حوالى ٩٠%، ويخفض الوزن بنسبة حتى ٧٥%. فى المناطق الحضرية ذات الكثافة السكانية العالية حيث لا تتوفر المساحات الأرضية المناسبة للدفن الأرضى فى خلال مسافات وصول مقبولة، فإن الحرق يمكن أن يكون البديل الاقتصادى المناسب لتداول المخلفات. فى كثير من الحالات يكون من المناسب اقتصادياً التصميم والتشغيل للمحرقة بحيث أن الحرارة الناتجة عن الاحتراق يمكن استعادتها واستخدامها فى إنتاج البخار أو الطاقة الكهربائية، هذا النوع من الاستخدام يسمى نظام استعادة الموارد أو الطاقة.

مخلفات وانبعثات المحرقة :

الحرق لا يتم لكل المخلفات الصلبة. رماد القاع المادة الصلبة المتبقية فى الفرن بعد الحرق تشمل الزجاج، المعدن، جسيمات معدنية صغيرة، ومواد أخرى لم يتم حرقها. حجم رمادة القاع للمخلفات الصلبة المنزلية تصل إلى حوالى ٥% من الحجم الأصلى للمخلفات. نوع آخر من وحدات حرق الرماد يسمى الرماد الطافى أو الطائر (Fly Ash)، الذى يحمل على طول مسار حرق الهواء (أو الغاز العادم). الرماد الطائر يتكون من مواد دقيقة جداً بما فيها البثار والسناج. معظم رماد محارق المخلفات الصلبة المنزلية (حوالى ٨٠% بالوزن) يكون فى شكل رماد القاع، والباقى يكون الرماد الطائر.

احتمال وجود المعادن الثقيلة فى رماد الحريق هو من العوامل التى يجب مراعاتها. مع تدمير الجزء القابل للحرق فى المخلفات فإن الحرق يعمل على تركيز المعادن، والتى

تظل في الرماد. المعادن مثل الرصاص والكاديوم يمكن أن تكون ضارة في حالة وجودها بتركيزات مرتفعة. بعض المواد العضوية مثل (dioxins) يمكن أن تكون موجودة في الرماد. أحد الطرق لخفض هذه المشكلة هي بعزل مثل هذه المنتجات والمواد السامة المحتوية على المعادن الثقيلة (مثل، البطاريات ومواد البلاستيك) عن مسار المخلفات المنزلية. الرماد الطائر عموماً يحتوى على تركيزات عالية من المواد السامة أكثر من رماد القاع. إختبار رماد القاع والرماد الطائر يكون مطلوباً ما إذا كان يلزم إدارة المخلفات كما لو كانت مخلفات خطيرة من عدمه. في أى الحالات، فإنه من المهم ردم كل رماد الحرق في حفر الردم الأرضي، ويفضل فصل الرماد عن المخلفات الصلبة الأخرى. الرماد يمكن معالجته كيميائياً أو طبيعياً قبل التخلص. فمثلاً، في حالة خلطه مع الجير الحي والماء فإن الرماد يكون مادة شبه أسمنتية التي تشل حركة المواد المعدنية (Immobilize)، في هذا الشكل يمكن استخدامه في إنشاءات أساسات الطرق وأغراض مفيدة أخرى.

التجهيزات الحديثة لإزالة الملوثات من الهواء يتم إنشاءها في كل المحارق المستخدمة لحرق المخلفات الصلبة وذلك لإزالة الرماد الطائر والملوثات الغازية الضارة. هذه المعدة يتم وضعها بعد الفرن ولكن قبل المدخنة الطويلة. (تجهيزات إزالة الملوثات من الهواء مثل المرشحات النسيجية، وغسيل الغازات الحامضية، المرسبات الكهروستاتيكية. مداخن المحارق يمكن أن تكون ذات ارتفاع ما بين ٦٠ متراً إلى ٨٠ متراً، صرف الغازات العادمة التي تم تنظيفها عند هذه الارتفاعات يزيد من معدلات التخفيف والانتشار، بعد إزالة ملوثات الهواء. ارتفاع مدخنة المحرقة يتوقف على عدة عوامل، بما فيها طبوغرافية الأرض المحلية، استعمالات الأراضي، المناخ، متوسط حالة الرياح. العمل الجيد للمحرقة أساسى بالنسبة لحماية الهواء من التلوث.

درجة حرارة الاحتراق المرتفعة بما فيه الكفاية، وزمن الاحتراق المناسب، الإمداد بما يكفى من الهواء هذه العوامل مطلوبة لتدمير المركبات العضوية الضارة الموجودة في المخلفات. من المهم اختبار الانبعاثات للتأكد من الأداء الجيد لكل النظام ومنع حدوث تلوث للهواء.

التصميم والتشغيل : (Design and Operation)

معظم المحارق الحديثة الضخمة تصمم بالعمل المستمر مع التغذية المستمرة، وليس بطريقة التغذية المرحلية. التغذية المستمرة بالمخلفات تسمح بتجانس درجة حرارة الفرن،

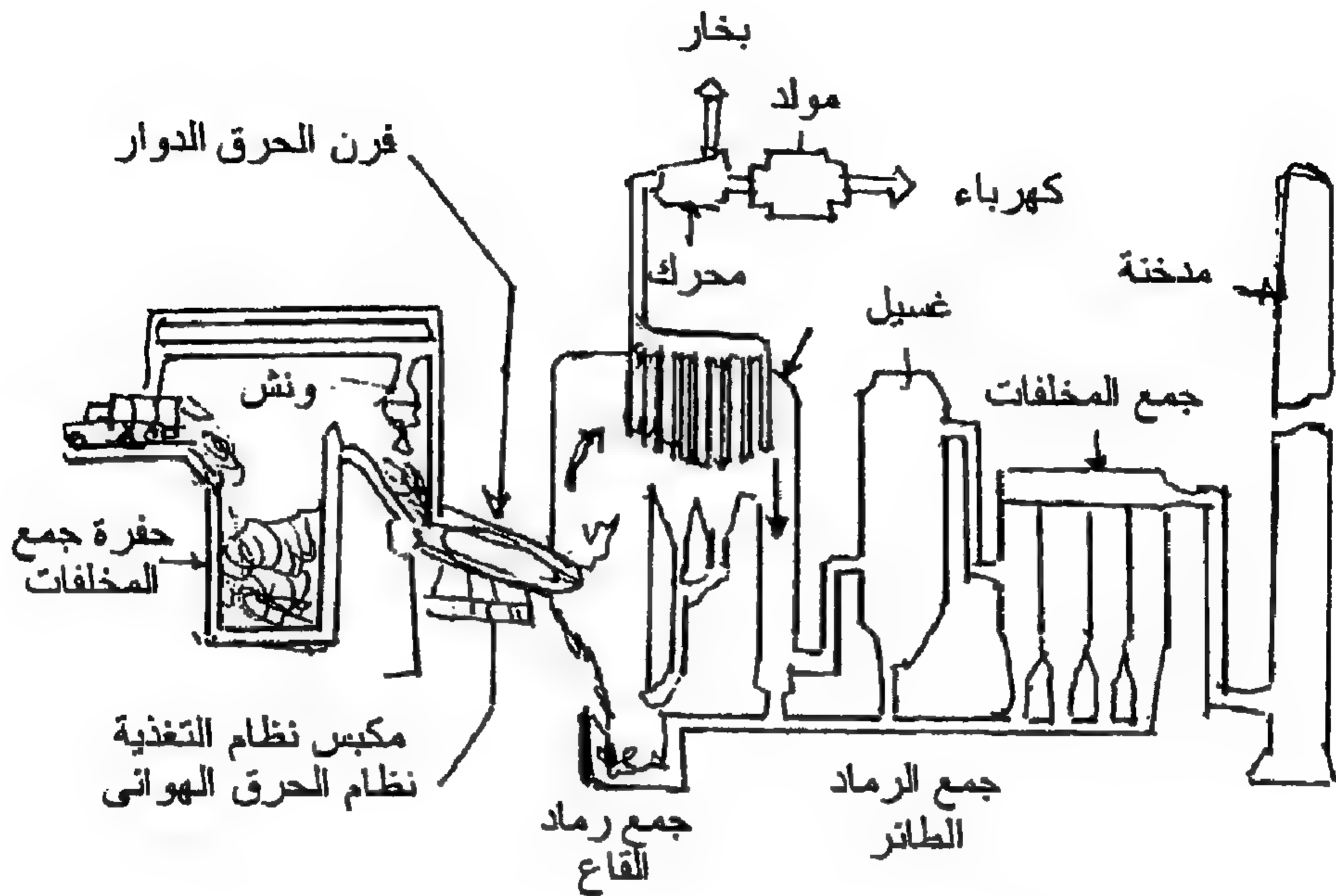
وهذا يوفر زيادة في كفاءة الحرق وخفض حدوث التلف بفعل الصدمة الحرارية لمكونات المحرقة.

المحرقة النموذجية تحتوى على حفرة جمع المخلفات أو مساحة للقلاب (Tipping Area)، والتي توفر حجم لتخزين المخلفات لا يقل عن يوم واحد. الحجم الكافى من التخزين يكون ضروريا جدا ليسمح بالعمل المستمر للمحرقة. يتم رفع المخلفات من الحفرة بواسطة ونش ذو دلو لخطف حجم من المخلفات ورفع ثم تفريغه فى قادوس الشحن أو المنحدر أو الأنبوب. ثم تتحرر المخلفات من المنحدر أى حاملة الوقود إلى الموقد. توجد أنواع مختلفة من التجهيزات الميكانيكية للتقليب وتحريك المواد المحترقة فى الفرن بطريقة تسمح باستمرار تدفق الهواء: المحارق للمخلفات المنزلية الصلبة يتم بنائها بأشكال مختلفة، حيث تشمل الفرن المستطيل، الفرن الدوار. فى النوع المستطيل ينظم اثنين أو أكثر من حاملات الوقود الشبكية المتصالبة فى طبقات، فى فرن الأتون الدوار (Rotary Kiln Furnance)، فإن الشباك المعدنية للتجفيف تسبق الأسطوانة الدوارة (الأتون) حيث يحدث الحرق التام. فرن الأتون الدوار موضح فى الشكل (٤/٤).

فى داخل الفرن يحدث الحرق فى مجالين، الحرق الأولي والحرق الثانى، فى الحرق الأولي، يتم دفع الرطوبة والتخلص منها ثم عندئذ فإن المخلفات القابلة للحرق تتطاير وتحرق. فى مرحلة الحرق الثانى، الغازات المتبقية التى لم تحرق وكذلك بعض الجسيمات الصلبة العالقة التى احتجزت فى تيار الهواء بعد الحرق الأولي يتم أكسبتها. المرحلة الثانية للحرق تساعد فى التخلص من الرائحة وتقلل من كمية الجسيمات التى لم تحرق فى الغازات العادمة. يستخدم أحيانا غاز أو وقود مساعد لتسخين الفرن وبدء الحريق الأولي عندما تكون المخلفات مبللة جيدا بالرطوبة. كذلك الوقود المساعد يسهل الاحتراق الثانى التام ويوفر إزالة إضافية للرائحة والدخان فى الغازات العادمة.

يجب خلط كميات كافية من الهواء جيدا مع المخلفات بما يمكن من إتاحة الأكسجين للحرق الأولي والثاني. فى الفرن من النوع المستطيل، يمكن الإمداد بالهواء من فتحات أسفل الشبك الحامل للوقود (الهواء أسفل اللهب) ثم يوجه إلى المنطقة فوق الشبك الحامل للوقود (الهواء أعلا اللهب). نسب الكميات من الهواء أسفل اللهب والهواء فوق اللهب يتم تحديدها بواسطة العامل للأداء الجيد للمحرقة. يتم توفير تدفقات الهواء من السحب الطبيعى لهواء المدخنة أو من مراوح دفع الهواء.

أفران الحرق التى لا تستخدم فى استعادة الطاقة تنشأ بمواد حرارية، التى تقاوم تأثيرات درجات حرارة الحرق المرتفعة جداً. الطوب الحرارى يصنع من الألومينا، مجنيزيا (Magnesia)، السيليكا، الطفلة، التى تسمى الكاولين، الجدران الحرارية تكون بسمك حوالى ٢٢٥ ملليمترًا.



شكل (٤/٤) مخطط للفرن الدوار لحرق المخلفات وإنتاج الطاقة

استعادة الطاقة (Energy Recovery)

استعادة الحرارة الناتجة عن حرق المخلفات فى المحرقة يمكن تنفيذها باستخدام فرن مبطن بالحراريات يليه غلاية. الغلاية تحول الحرارة الناتجة عن الاحتراق إلى البخار أو إلى الماء الساخن. بهذه الطريقة، المحتوى من الطاقة للمخلفات يمكن تدويرها ووضعها فى استخدام مفيد. المخلفات المنزلية الصلبة المحتوية على الورق والخشب والمواد الأخرى القابلة للاحتراق يمكنها أن تعطى محتوى من الطاقة يعادل تقريباً ثلث طاقة الفحم. نوع آخر من استعادة الطاقة يستخدم جدار الفرن المزود بمواسير المياه (Water Tube Wall Furnace). هذا النوع من الأفران يكون مبطناً بمواسير صلب ملحومة ذات فواصل قريبة من بعضها البعض ومثبتة رأسياً لتكون جداراً مستمراً. العزل الخارجى للجدران يقلل الفقد فى الحرارة. تمتص الحرارة بواسطة الماء الذى يدور خلال المواسير، والماء الذى يتم تسخينه يستخدم فى إنتاج البخار. ميزة هذا النظام هو أن الماء يعمل كذلك

فى التحكم فى درجة حرارة الفرن، ويقلل الحاجة إلى الهواء الزائد. أحجام أصغر من تدفق الهواء ينتج عنها خفض تكاليف الحد من تلوث الهواء مقارنة إلى تكاليف الفرن المبطن بالحراريات.

عند تغذية المخلفات الصلبة الخام والتي لم يتم معالجتها كوقود مباشرة فى فرن من نوع استعادة الحرارة، فإن هذه العملية تسمى حرق الكتلة (Mass Burning). ولكن فى بعض نظم الحرق يمكن معالجة المخلفات أو إعدادها بالتقطيع وبفصل مادة المخلفات الغير قابلة للاحتراق قبل تغذيتها فى الفرن. فى هذه الحالة فإن المخلفات الصلبة تسمى الوقود المستخلص من المخلفات (Refuse Derived Fuel). تقريبا يمكن إنتاج ٢ كيلو جرام من البخار من كل كيلوجرام من المخلفات المحروقة، ولكن التغير فى خواص المخلفات يؤدى إلى تغير فى معدل إنتاج البخار. يجب عمل احتياطي لحرق وقود إضافي عندما يكون حجم أو المحتوى الحرارى الذى يتم استعادته من المخلفات ينخفض مؤقتاً.

استعادة الحرارة وإعادة استخدامها من حرق المخلفات المنزلية الصلبة يعتبر اختيار جيد لإدارة المخلفات من وجهة النظر البيئية والإيكولوجية. ولكن التكاليف العالية للمعدات والإدارة بالإضافة إلى الحاجة إلى عمالة فنية على مستوى عالى من التدريب وكذلك الحاجة إلى نظم للوقود الإضافي، تلك هى بعض العوامل التى يجب مراعاتها عند الرغبة فى إقامة وحدة لإدارة المخلفات الصلبة. تقريباً، كل المحارق الجديدة تستخدم نظم استعادة الحرارة. الحرق أصبح أسلوباً مفضلاً لإدارة المخلفات الصلبة يفوق استخدام الردم الأرضي، ذلك لصعوبة مساحات من الأرض مناسبة للرمد الأرضي. بسبب تعقيدها فإن المحارق الضخمة (ذات طاقة تزيد عن مائة طن فى اليوم) يتم طرحها للتصميم والإنشاء والتشغيل كعملية تسليم المفتاح. بعد عملية الطرح فإن بائع المحرقة ينظم التمويل (إما على المستوى الفردى أو من خلال عقد عام مع المحليات) ويقوم بتشغيل الوحدة طبقاً للتعاقد مع المحليات. فى حالة المحارق الصغيرة نسبياً ذات طاقة من واحد إلى ثلاثة طن فى الساعة يمكن توفيرها كوحدة سابقة التجهيز بواسطة المنتج. بعض الوحدات المعيارية أو النسقية (Modular Units) يتم تغذيتها على مراحل وتعمل باستخدام فرن قليل الهواء (Starved Air Furnance) لتقليل تلوث الهواء. كذلك يمكن تزويد المحارق النسقية (المعيارية - Modular) يمكن تزويدها بالغلايات لاستعادة الطاقة الحرارية المفقودة.

التحليل الحرارى : (Pyrolysis)

التحليل الحرارى (Pyrolysis) هو عملية حرارية ذات درجة حرارة مرتفعة التى يمكن أن تكون بديلاً عن الحرق، فهى تحدث فى بيئة ذات محتوى منخفض من الأكسجين

أو في حالة عدم وجود الأكسجين وينتج منتجات يمكن أن تستخدم كوقود. يتم حرق الغاز الطبيعي لبدء العملية. بدلاً من الأكسدة تحدث سلسلة معقدة من التحلل والتفاعلات الكيميائية الأخرى. تلوث الهواء في حالة التحلل الحراري يكون مشكلته أقل مقارنة بالنسبة للحرق بسبب الحجم المنخفض من المخلفات الغازية. يمكن استخدام التحلل الحراري في إعداد ومعالجة إطارات المطاط الكهنة، المطاط يختزل إلى الزيت وغاز الميثان، الذي يمكن بيعه. (إطارات المطاط يمكن كذلك تقطيعها إلى قطع صغيرة وإضافتها إلى مادة الرصف الأسفلتية لإنشاءات الطرق).

التقطيع والطحن : (Shredding and Pulverizing)

التقطيع والطحن يقلل من حجم المخلفات بحوالي ٤٠%. توجد أسباب كثيرة لخفض حجم المخلفات المنزلية الصلبة. إنتاج وقود من المخلفات يتطلب إعداد المخلفات الصلبة الخام بالتقطيع والطحن. التجميع أو التركيب (compositing) والذي سيتم مناقشته لاحقاً عادة يحتاج إلى خفض الحجم. يمكن أو لا استخدام التقطيع والطحن عندما يكون الغرض الرئيسي هو استعادة مادة من المخلفات التي يمكن تدويرها وتسويقها. خفض الحجم وعملية التجانس تحسن من آلية الفصل الميكانيكي أخيراً، تقطيع المخلفات قبل الردم الأرضي يقلل من إيواء الزواحف لصعوبة وجود فراغات في المادة المتجانسة.

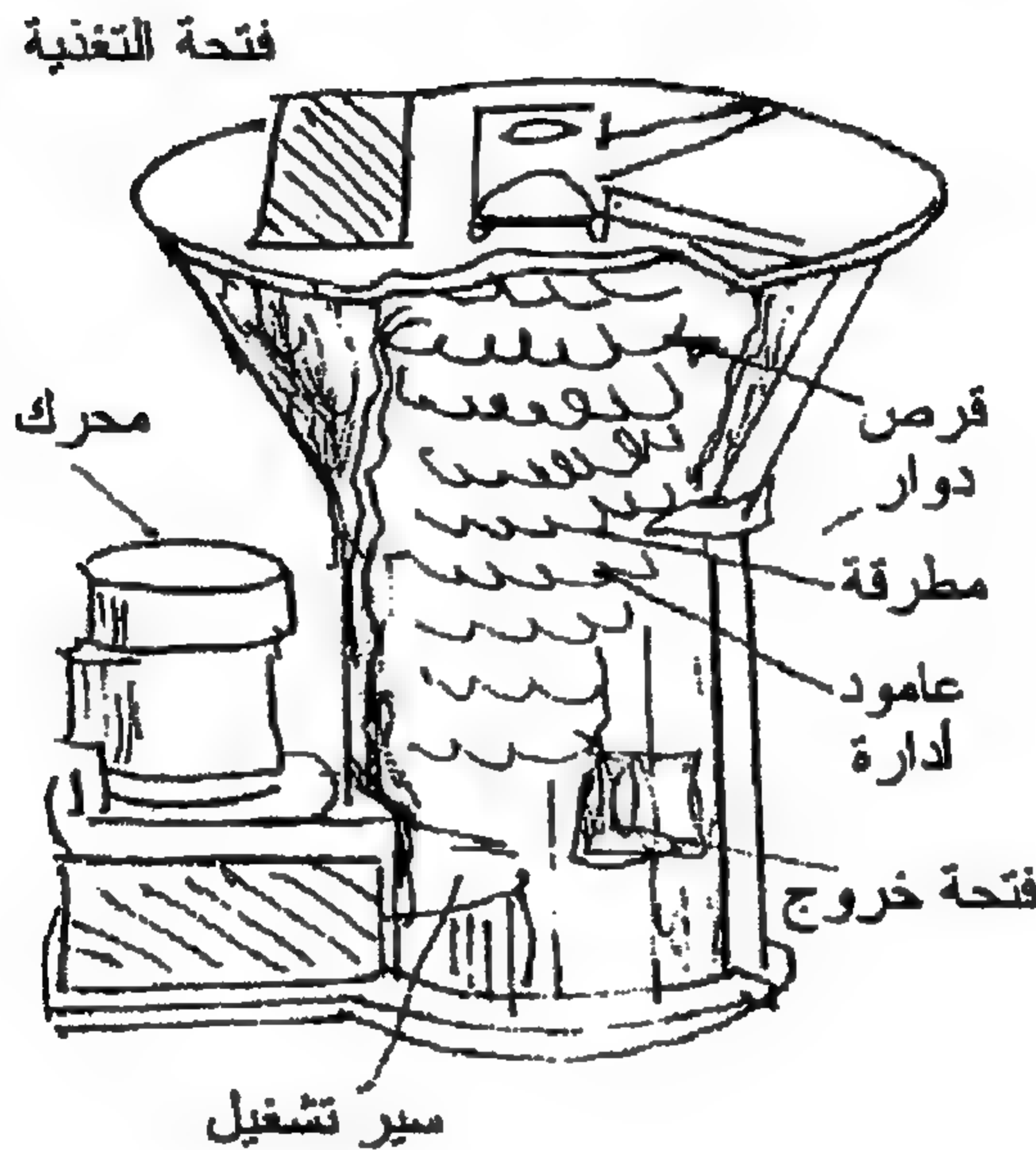
المطارق : (Hammer Mills)

أحد المعدات المستخدمة لإعداد المخلفات الصلبة لتكون في شكل كتلة متجانسة هي المطرقة. المطرقة هي تجهيزة ميكانيكية للصدمة حيث مادة المخلفات الصلبة الخام يتم طرقها بقوة كافية لتفتيتها وتقطيعها إلى قطع صغيرة. الطرق يتم بواسطة عدة مطارق التي تدور بسرعة عالية (حتى ١٥٠٠ لفة في الدقيقة) حول عامود إدارة رأسى أو عمودى، مطرقة رأسية موضحة في الشكل (٤/٥).

في حالة المطرقة الأفقية فإن قضبان التقطيع أو ألواح التكسير تكون مثبتة حول محيط المطحنة والتي تقلل كذلك من حجم المخلفات. عند تمام خفض الحجم لمكونات قطع المخلفات فإن هذه المخلفات تسقط ببساطة خلال الشبك الحامل للوقود عند قاع الغرفة. يمكن خفض حجم المخلفات الصلبة إلى قطع متجانسة ذات قطر ما بين ٢٥ ملليمتر إلى ٥٠ ملليمتر (١ - ٢ بوصة) مع التشغيل الجيد. المطحنة النموذجية تكون ذات قدرة ١٥٠ حصان وقادرة على إعداد حوالي ١١ طناً (100 KN) من المخلفات الصلبة في الساعة.

بالإضافة إلى التكلفة العالية للتشغيل والصيانة واستهلاك الطاقة فإن سلبيات المطرقة تشمل إحداث الصوت وتولد الغبار.

الحديث في أجهزة خفض الحجم هو القاطعة الدوارة بالقص (Rotary Shear Shredder). وهذه ذات عزم عالي، وسرعة بطيئة نسبياً (حتى ٦٠ لفة في الدقيقة)، تتكون من اثنين أو أكثر من أعمدة إدارة متوازية أفقية التي تدور في اتجاهات متعاكسة. كل عامود إدارة له قاطعات التي تقطع وتمزق مادة المخلفات. العزم العالي وأداء القص العالي يسمح لهذا النوع من الماكينات بتقطيع المواد الصعبة مثل الإطارات.



شكل (٤/٥) المطرقة الرأسية

التكيس (التعبئة في أكياس أو بالات) : (Baling)

دمك المخلفات الصلبة في شكل كتل مستطيلة أو بالات يسمى التكيس. هذه العبوات تكون ذات حجم حوالى ١,٥ متراً مكعباً وتزن حوالى واحد طن (واحد كيلو نيوتن). المخلفات الصلبة يمكن دمكها تحت الضغط العالي (حوالى ١٠٠ رطل/البوصة المربعة أو ٧٠٠ كيلو باسكال - 700 K Pa) أما في مكابس رأسية أو أفقية، العبوات أو البالات أحياناً يتم لفها بسلك من الصلب للمساعدة في المحافظة على شكلها المستطيل أثناء التداول. (كذلك يمكن احتوائها في الأسفلت المنصهر، أو البلاستيك، أو الأسمنت البورتلاندى، أو ربطها بواسطة أربطة معدنية، طبقاً للاستخدام المستقبلي أو طريقة

الفصل الرابع

(التخلص). إذا كان محتوى الرطوبة وضغوط الكبس مرتفعة بدرجة كافية، فإنه يحتفظ بشكلها بدون الحاجة إلى اللف بسلك أو تغليفها). المكبس الشبه آلى الأفقى يمكنه كبس حتى ٣٦ كيلو نيوتن (أو ٤ طن) فى الساعة من المخلفات المنزلية الصلبة. الخفض فى الحجم قد يصل إلى ٩٠% من الحجم الأصلي.

خفض حجم المخلفات الصلبة يمكن تقديره بنسبة الدمك أو الكبس، وكذلك بالنسبة المئوية. تفهم العلاقة بين النسبة المئوية للخفض فى الحجم ونسبة الدمك أو الكبس تعتبر هامة، خاصة عند مراجعة وتفسير بيانات المنتج واختيار أو توصيف وحدة كبس مناسبة. المعادلة المناسبة هى :

$$(١) \quad \text{النسبة المئوية للخفض فى الحجم} = \frac{\text{الحجم الأولى} - \text{الحجم النهائى}}{\text{الحجم الأولى}} \times ١٠٠$$

$$(٢) \quad \text{نسبة الكبس (الدمك)} = \frac{\text{الحجم الأولى}}{\text{الحجم النهائى}}$$

مثال :

الحجم الأصلي لكتلة المخلفات الصلبة هو ١٥متراً مكعباً. بعد الكبس، انخفض الحجم إلى ٣ أمتار مكعبة. (أ) أحسب النسبة المئوية للخفض فى الحجم ونسبة الدمك (الكبس). (ب) إذا كان المطلوب الحصول على خفض فى الحجم ٩٠%، ماذا ستكون نسبة الدمك. (أ) باستخدام المعادلة رقم (١).

$$\text{النسبة المئوية للخفض فى الحجم} = \frac{١٥ - ٣}{١٥} \times ١٠٠ = ٨٠\%$$

باستخدام المعادلة رقم (٢)

$$\text{نسبة الدمك (الكبس)} = \frac{١٥}{٣} = ٥$$

نسبة الدمك يعبر عنها ٥ : ١ أو خمسة إلى : ١.

(ب) باستخدام المعادلة رقم (١) للحصول على نسبة الدمك التى تقابل ٩٠% خفض فى الوزن.

$$100 \times \frac{15 - \text{الحجم النهائي}}{15} = 90$$

∴ الحجم النهائي = ١,٥ متراً مكعباً.

باستخدام الحجم النهائي ١,٥ متراً مكعباً وتطبيق المعادلة رقم (٢).

$$\therefore \text{نسبة الدمك (الكبس)} = \frac{15}{1,5} = 10 \text{ أو } 10 : 1$$

من هذا المثال يلاحظ أنه لتحسين الخفض فى حجم المخلفات الصلبة بنسبة ١٠%، من ٨٠% إلى ٩٠%، يكون من الضرورى مضاعفة نسبة الدمك من ٥ : ١ إلى ١٠ : ١ :

الميزة الأساسية لتكيس المخلفات الصلبة هى الخفض الكبير فى حجم المخلفات، سهولة تداول المخلفات المدموكة، وخفض مصادر الإزعاج والانتشار. كذلك المخلفات المدموكة يمكن نقلها إلى الدفن الأرضى بالمركبات التقليدية كما أن عمر الخدمة للردم الأرضى يمكن أن يزداد كثيراً (بحوالى ٦٠%)، ذلك بسبب صغر حجم المخلفات المطلوب دفنها. عند منطقة الردم الأرضى، يمكن أن يتم رص هذه العبوات فى مكان بدون حدوث مشاكل حمل الهواء للمخلفات، احتمال احتواء الزواحف والحيوانات والحشرات يقل، متطلبات تغطية التربة تقل، وكذلك تقل الحاجة إلى الدمك فى الموقع. أحياناً يتم ترك هذه العبوات التى تكون فى شكل أكياس أو بالات بدون أى تغطية مؤقتاً.

التحلل (للتسميد): (Composting)

التحلل هو العملية التى يتم فيها تحلل الجزء العضوى من المخلفات الصلبة تحت ظروف محكمة. فهى عملية بيولوجية أكثر منها عملية كيميائية أو ميكانيكية، التحلل والتحول لمادة المخلفات يتم بفعل البكتريا، الفطريات والكائنات الحية الصغيرة الأخرى.

التحلل فى أى مكان يتم استخدامه يجب أن يكون جزءاً من نظام الإدارة الكلى الذى يتعامل مع مكونات أخرى من تدفقات المخلفات الصلبة مثل الجزء العضوى. فى بعض التطبيقات، يمكن خلط حمأة الصرف الصحى والمخلفات الزراعية مع الجزء العضوى من المخلفات المنزلية الصلبة.

مع التحكم الجيد فى الرطوبة، درجة الحرارة، والتهوية، فإن وحدة التحلل للمواد العضوية يمكنها خفض حجم المادة العضوية الخام بنسبة حتى ٥٠%. هذا بالإضافة إلى أن التحلل للتسميد يمكن أن يثبت المخلفات وينتج منتجات نهائية التى يمكن تدويرها للاستخدام المفيد. المنتج النهائى يسمى خليط التسميد (Compost)، فهو يشبه التربة الفخارية وله رائحة التربة، ويستخدم فى تحسين خواص التربة ولغرس المهاد.

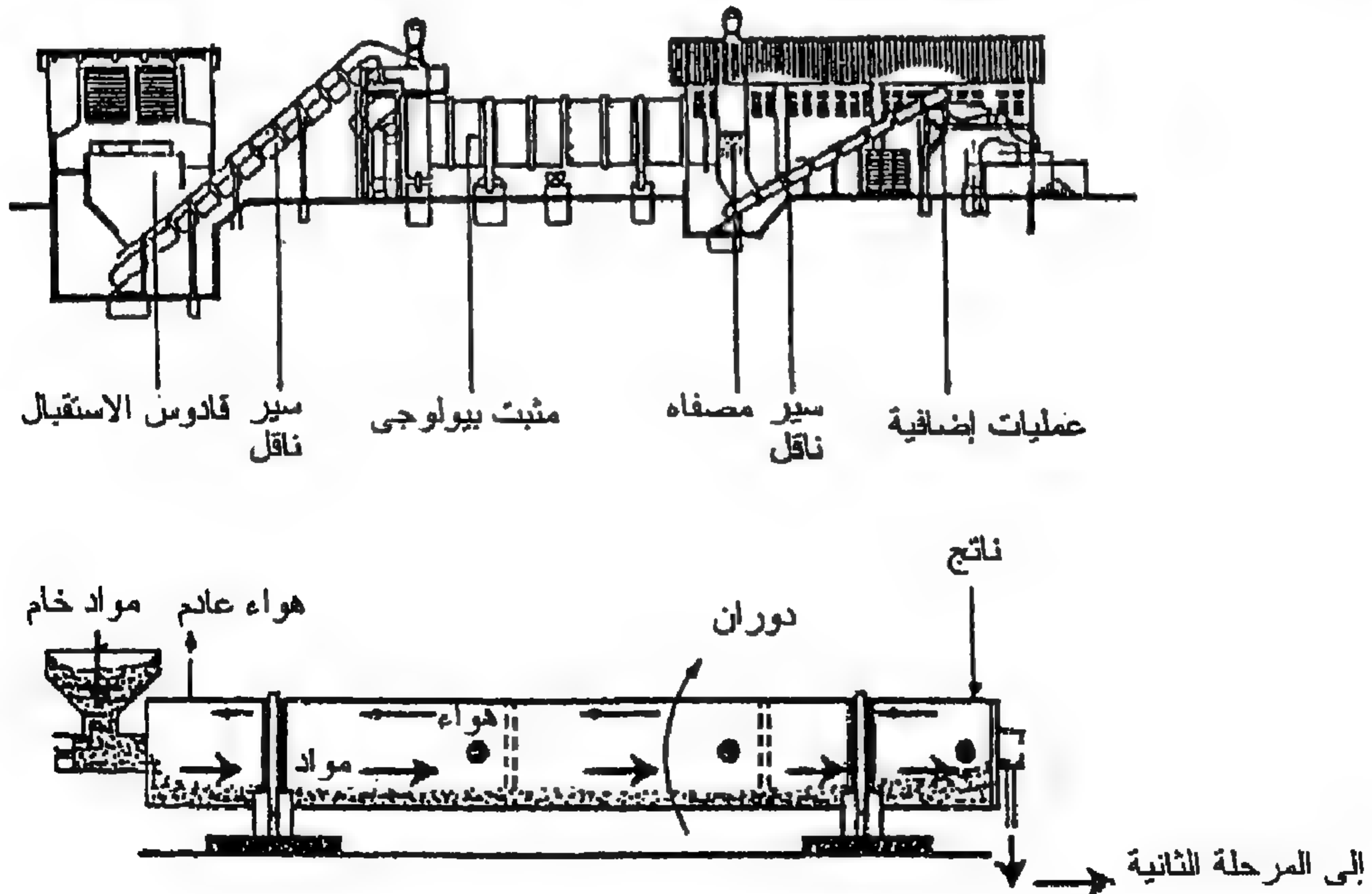
عملية التحلل الكاملة للمخلفات المنزلية الصلبة تشمل التصنيف، والفصل، التقطيع، والطحن، والهضم، تحسين المنتج وأخيراً التسويق. عمليات التصنيف والعزل مطلوبة لعزل المواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجى من مواد البلاستيك والزجاج والمعادن، والمواد الأخرى الغير قابلة للتحلل البيولوجى. عمليات التقطيع والطحن تساعد فى خفض حجم القطع من المخلفات العضوية الصلبة، بما ينتج عنه كتلة متجانسة من المادة. هذا يسهل التداول، التحكم فى الرطوبة وتهوية المخلفات التى تتحلل. كذلك فإن خفض الحجم يساعد فى زيادة نشاط البكتريا ويزيد من معدل التحلل. بعد خفض الحجم، تكون المخلفات جاهزة لخطوة التحلل أو الهضم والذى يمكن أن تحدث فى صفوف هوائية (Windrows) أو فى تجهيزة ميكانيكية مغلقة.

الصف من المخلفات المعرض للهواء (windrow) هو كومة طويلة منخفضة من المخلفات العضوية المعدة، عادة باتساع ٣ أمتار عند القاع وحوالى ٥ متر ارتفاع. معظم الصفوف الهوائية تكون ذات مقطع قمعى وبطول حوالى ٥٠ متراً. المخلفات يتم تهويتها من أن إلى آخر بتقليب كل صف رياح. يمكن عمل ذلك يدوياً باستخدام شوكة تقليب، ولكن فى الحالات حيث ضخامة حجم المخلفات فإن ذلك يتم ميكانيكياً باستخدام ماكينات ذات تصميم خاص. بعض من هذه الماكينات يقلب ويعيد بناء الصف المقلوب قريباً من مكانه الأصلى شكل (٤/٦).

التقليب أحياناً يتغير طبقاً للمحتوى من الرطوبة وعوامل أخرى. عند استمرار المحتوى من الرطوبة عند حوالى ٥٠%، يتم تقليب الصف الهوائى مرتين أو ثلاث مرات فى الأسبوع وفى بعض الحالات يومياً.

عموماً عملية التحلل للصفوف الهوائية في المجال المفتوح تستغرق حوالى خمسة أسابيع لهضم أو لتثبيت مادة المخلفات. يكون أحياناً مطلوب ثلاثة أسابيع إضافية لتأكيد تمام التثبيت. درجة الحرارة في صف التحلل الهوائى قد تصل إلى ٦٥°م بسبب الأيض الطبيعى للكائنات التى تألف الحرارة والتى تعيش عند درجة الحرارة المرتفعة هذه. درجة الحرارة المرتفعة نسبياً تقتل معظم الكائنات المسببة للأمراض التى يمكن أن تكون موجودة في المخلفات.

الصف الهوائى في المجال المفتوح للتحلل يحتاج إلى مساحات أرضية كبيرة نسبياً، تجمع سكانى تعداده ٢٥٠,٠٠٠ ألف نسمة كمثال، يحتاج إلى ٢٤ هكتاراً (٦٠ فداناً) من الأراضى لعمل نظام التحلل للمخلفات المنزلية الصلبة. لخفض الحاجة إلى الأراضى، توجد أنواع مختلفة من النظم الميكانيكية المغلقة يمكن أن تستخدم بدلاً من طريقة الحقول الهوائية المفتوحة. النظام المقل يقلل المساحات الأرضية المطلوبة لخدمة ربع مليون فرد إلى السدس أى من ٢٤ هكتاراً إلى ٤ هكتارات. توجد أنواع مختلفة من النظم الميكانيكية. يتم توفير الأكسجين لمادة المخلفات بدفع الهواء، التقلب، مثال للنظام المستخدم في الاسطوانة الدوارة لتقليب المخلفات موضح في الشكل (٤/٦).



شكل (٤/٦) نظام ميكانيكى مغلق

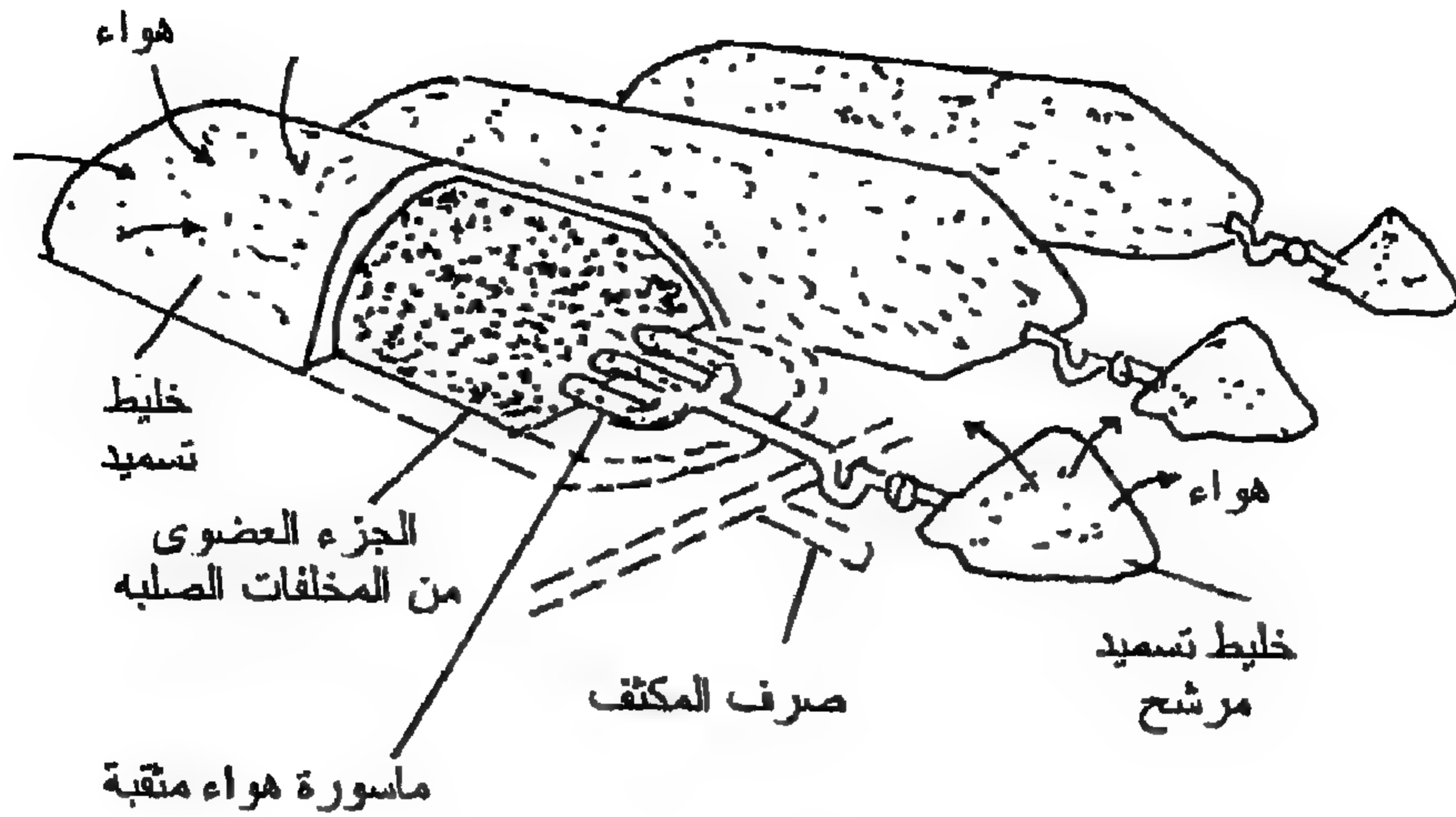
بالإضافة إلى خفض مساحات الأرض اللازمة، فإن النظام الميكانيكي المقفل يمكنه خفض الزمن اللازم للتثبيت من خمسة أسابيع إلى أسبوع واحد. بعض النظم الميكانيكية تستخدم العديد من الآوانى المقفلة أو الخزانات لهضم المخلفات. يمكن تجهيزها بريش تقلب دواراً لخلط مادة المخلفات المفتتة وتسهيل التهوية. فى بعض النظم، يتم دفع الهواء المضغوط إلى الوعاء للتهوية.

قبل بيع المادة العضوية التى تم تثبيتها للاستخدام كسماد ولتحسين نوعية التربة، فإنه يجب معاملتها لتحسين نوعيتها ومظهرها، وهذا يشمل التجفيف، (فرز الأحجام الكبيرة)، التحبيب، أحياناً يتم وضع المادة فى شكاير رغم أن المبيعات للكميات كبيرة أفضل اقتصادياً، أفضل مستخدم لهذه المواد هى الزراعة.

المواد العضوية المثبتة هذه يمكنها زيادة المحتوى العضوى والغذائى للتربة ويحسن من شكلها وقدرتها على الاحتفاظ بالرطوبة.

التحلل المشترك : (Co - Composting)

مثال للإدارة المتطورة للمخلفات هو التحلل المشترك للمخلفات الصلبة المنزلية وحماة الصرف الصحى. حماة الصرف الصحى تضيف النيتروجين والفوسفور والعناصر الأخرى التى تضيف فائدة إلى المخلفات الصلبة وتساعد فى عملية التحلل. الحماة يتم أولاً سحب المياه منها بحيث لا تضيف كثيراً من الرطوبة إلى كومة التحلل. الحماة التى أزيل الماء منها والجزء العضوى من المخلفات الصلبة المنزلية يجب خلطهم جيداً. عند تحلل الحماة وحدها أو بالاشتراك مع المواد العضوية من المخلفات المنزلية، فإنه يمكن استخدام طريقة الصف الهوائى الاستاتيكية أو القلابات الميكانيكية لتهوية المخلفات. فى طريقة التهوية الاستاتيكية يتم دفع الهواء المضغوط إما إلى أعلا خلال المخلفات أو إلى أسفل كما هو موضح فى الشكل (٤/٧-أ). طول ماسورة مثقبة بقطر حوالى ٦ بوصة (١٥٠ ملليمتر) يتم وضعه تحت الصف، الذى يكون تقريباً بنفس الحجم والشكل مثل الصف الهوائى الذى يتم تهويته بطريقة التقليب. الصف الهوائى يمكن تغطيته بطبقة من المادة التى تم تحللها لتمتص أى رائحة غير مقبولة. يتم دفع الهواء فى (أو خارج) باستخدام هوائيات لمدة خمس دقائق على فترات كل ١٥ دقيقة.



شكل (٤/٧) مخطط لنظام الكومة الاستاتيكية المهواه

٤- التدوير : (Recycling)

الأنشطة السكانية، التجارية، الصناعية والمؤسسية دائماً ما تنتج مخلفات صلبة. ولكن النظرة العامة لمكونات المخلفات أى المادة الغير مفيدة والغير مرغوب فيها دائماً تتغير. مع زيادة وعى المجتمعات لمعنى البيئة ومتطلباتها وكذلك انكماش المساحات الفضاء من الاراضى المناسبة للردم الأرضى للمخلفات فإن الحاجة إلى استعادة وإعادة الاستخدام لكثير مما كان يلقى فى الماضى أو يتم ردمه أصبح من الأمور الهامة. كذلك فإن تكاليف التخلص من مادة المخلفات الصلبة بطريقة صحيحة بيئياً جعل من الضرورى النظر فى تقنيات بديلة لإدارة المخلفات.

الطريق المثالى إلى الإدارة الصحيحة للمخلفات هى أولاً تخفيض المخلفات من المنبع ثم استعادة المواد الصالحة لإعادة الاستخدام من مسار المخلفات قبل التخلص. يتم ذلك بالتدوير، أى بفصل وإعادة استخدام هذه المكونات من مسار المخلفات ذات القيمة الاقتصادية.

التدوير يعيد مختلف المواد إلى الدورة الإنتاجية والمحافظة على الموارد المختلفة على طول الطريق. بعض المواد، مثل الألومنيوم، والصلب، يمكن تدويرها مرات عديدة. الطاقة وكذلك المادة يمكن تدويرها. المحارق لاستعادة الموارد هى مثال حيث تستعاد

الطاقة الحرارية وذلك باستخلاص المحتوى الحرارى وتحويله إلى البخار وحتى إلى الطاقة الكهربائية. التحلل هو مثال للعملية التى تسمح بتدوير المكون العضوى للمخلفات العضوية الصلبة. ولكن عادة عند التفكير فى التدوير، فإنه يكون بخصوص الجمع، التعامل، إعادة بيع المواد الموجودة عادة فى المنازل، المنشآت.

المواد القابلة للتدوير : (Recycable Materials)

كثيراً من المواد يمكن تدويرها. بعض المواد تكون نتيجة إنتاج تجارى أو صناعى ولا تدخل فى مسار المخلفات الصلبة. المكونات الرئيسية للمخلفات المنزلية الصلبة ذات بعض القيمة الاقتصادية وقابلة للتدوير تشمل المعادن، الورق، الزجاج، البلاستيك.

المعادن :

المعادن تنقسم إلى معادن حديدية ومعادن غير حديدية. المعادن الحديدية تحتوى على الحديد وهو مغناطيسى، المعدن الغير حديدى لا يحتوى على الحديد وهو غير مغناطيسى، الصلب، كمثال معدن حديدى، والألومنيوم معدن غير حديدى.

رغم أن الألومنيوم هو من أصغر مكونات المخلفات المنزلية الصلبة (أقل من ١,٥%)، إلا أنه من المكونات ذات القيمة العالية من المواد التى يتم تدويرها. وهو من أهم المعادن الموجودة بوفرة فى القشرة الأرضية، ولكن عملية الاستخلاص للألومنيوم من الخام مكلفة نسبياً. نظراً لأن الألومنيوم الجديد مكلف نسبياً فإن الألومنيوم الذى يتم تدويره له سوق قوية ويلعب دوراً كبيراً فى صناعة الألومنيوم. الألومنيوم الخردة يمكن فصله مغناطيسياً من المعادن الحديدية، المفتتة فى وحدة الطرق (Hammer Mill) ونقلها إلى وحدة الصهر. حوالى ٣٨% من إنتاج الألومنيوم يعاد تدويره. معظم الألومنيوم الذى يتم تدويره يأتى من علب المشروبات ويستخدم لعمل علب جديدة.

المعادن الحديدية تشكل حوالى ٥% من المخلفات المنزلية الصلبة ومعظمها يكون فى شكل العلب من الصلب (الصفائح). العلب الصفائح تصنع من الصلب ثم تغطى بالقصدير لخفض التآكل وتثبيت المذاق للطعام والمشروبات ويمكن إزالة طلاء القصدير من العلب المستخدمة، رغم أن تكنولوجيا صناعة الصلب يمكنها تداول حتى ١٠% من القصدير فى تدوير الصلب. يوجد سوق للصلب الخردة لا حدود له تقريباً. يتم تدوير ١٥% من الإنتاج السنوى للصلب.

الورق :

يشكل الورق والمنتجات الورقية أكبر جزء من المخلفات المنزلية الصلبة. معدلات التدوير تتغير طبقاً لنوع الورق. ورق الصحف القديمة كمثال، له معدل استعادة بنسبة ٣٠%، بينما الورق المموج له نسبة استعادة حوالى ٥٠%، بعض أنواع الورق الأخرى التى يمكن تدويرها تشمل، ورق الأعمال المكتبية، ورق الكرتون، أكياس الورق، المجلات، الورق الذى يتم تدويره يستخدم فى أغراض مختلفة، ولكنه ليس فى كفاءة الجديد بعد معالجته. الشعيرات تضعف ويكون من الصعب التحكم فى لون المنتج الذى يتم تدويره. قوانين حماية الصحة تمنع استخدام الورق الذى تم تدويره فى صناعة أوعية للمواد الغذائية وذلك لمنع احتمال حدوث التلوث. عادة تكون التكلفة أقل فى حالة نقل لب الورق الخام عنه بالنسبة للورق من المخلفات، حيث الجمع، الفرز والنقل تمثل ٩٠% من تكاليف التدوير للورق وعملية إنتاج اللب (Pulping) وإزالة الأحبار وفرز المخلفات تكون عادة أكثر تكلفة مقارنة بصناعة الورق من الخشب أو من شعيرات السيليلوز.

من الملاحظ عادة أن تدوير الورق سيساعد فى الحفاظ على الغابات، حيث أنه يلزم حوالى ١٧ شجرة لصناعة طن واحد من الورق. ولكن تجفيف كثافة الغابات يزيد من إنتاجيتها ولذلك فإنه من الناحية الإيكولوجية يكون تدوير الورق لا يؤدي بالضرورة إلى المحافظة على الغابات.

الزجاج :

يشكل الزجاج حوالى ٧% من المخلفات المنزلية الصلبة ومعدل استعادته هو حوالى ٢٠%، معظم المخلفات الزجاجية تكون من أوعية المواد الغذائية والمشروبات. الزجاج هو المادة الغير مزعجة ضمن المخلفات الصلبة. فهو مادة خاملة وغير ملوثة ومصنعة أساساً من رمل السيليكا وبعض الموارد الطبيعية. ورغم هذا فإنه توجد حاجة وسوق رائجة للمخلفات من الزجاج. ولكن تدوير الزجاج له فائدة فقط فى حالة فرزها طبقاً للألوان. ثم طحنه لعمل زجاج جديد.

الزجاج المطحون (Cullet) يمكن إعادة صهره لإنتاج دفعة جديدة من الزجاج، يقدر قيمة الزجاج المطحون الصالح لإعادة صهره بحوالى ٣٠% من المادة اللازمة لإنتاج زجاجات التعبئة الجديدة. فى حالة خلط كميات من الزجاج ذات ألوان مختلفة (مثل الرائق، البنى، والأخضر) فإن الخليط المطحون تكون قيمته أقل لصناعة العبوات

الزجاجية الجديدة. لذلك فإنه في كثير من مراكز التدوير يتم فرز الزجاج لمنع خلط الألوان المختلفة.

البلاستيك :

البلاستيك مادة غير قابلة للتحلل البيولوجي، وهي من المنتجات البترولية وتشكل حوالي ٩% من المخلفات المنزلية الصلبة. مواد البلاستيك من الصعب تدويرها ذلك لكثرة أنواع راتنج البلمرات المستخدمة في صنعها. لتكون ذات قيمة عالية. فإنه يتم فرز البلاستيك طبقاً للنوع، في حالة الخلط، فإن المادة يمكن استخدامها فقط في صناعة منتجات ذات نوعية متدنية.

نظراً لأن كثيراً من الناس يجدون صعوبة في التعرف على الأنواع المختلفة من البلاستيك، فإنه تم عمل كود أو رمز للتدوير، حيث عادة يتم ختمه على كل منتجات البلاستيك التي يتم تدويرها. فمثلاً، كود لنوع البلاستيك PET هو I وذلك للبولى إيثيلين تترافثاليت (Polyethylene Tetraphthalate) وبالنسبة HDPE (البولى إيثيلين عالى الكثافة) الرقم الكودى هو ٢. علب المشروبات تكون مصنوعة عادة من (PET) وأوعية اللبن والمنظفات تصنع من (HDPE).

مساهمة البلاستيك في مسار المخلفات ينمو بالنسبة لكل من الوزن والحجم حيث أن كثيراً من الشركات تعتمد على منتجات البلاستيك والتعبئة. جميع الأوعية من البلاستيك مازال يمثل مشكلة، ولكن بسبب الحجم الكبير وليس للكثافة القليلة جداً. فنرى أن معظم حجم أوعية البلاستيك يكون الهواء، وهذا يشكل صعوبة في عربات الجمع ذات الحجم المحدود.

انقراض البناء والهدم :

هذا النوع من المخلفات الصلبة وإن كان لا يعتبر من المخلفات المنزلية والذي هو انقراض البناء والهدم. هذه المادة تحتوى على الأخشاب، الخرسانة، الطوب، المعادن، ونظراً لأن مساحات الأراضي للردم الأرضى أصبحت محدودة ومكلفة فإن معظم هذه المكونات يتم تدويرها. التدوير دائماً يتم عند المصدر وذلك بفصل هذه المكونات من الأخشاب والطوب والمواد الأخرى لنقلها إلى السوق.

من بين المواد التي يعاد استخدامها الخشب، الأسفلت، الخرسانة أما الجبس فهو بدرجة أقل في التدوير. المواد المعدنية التي يعاد تدويرها وكذلك الأخشاب تكون ذات أعلى معدل في التدوير.

الخرسانة من الأسمنت البورتلاندى، الخرسانة الأسفلتية تتكون معظمها من الركام (الزلط والرمل). أنقاض الخرسانة يمكن طحنها وتدويرها كبديل لركام تأسيس الطرق خاصة في الأماكن حيث الركام والتربة الزلطية شحيحة.

بعض المواد الأخرى التي يمكن تدويرها :

المطاط المستخلص يجب تقطيعه بواسطة ماكينات تقطيع خاصة وتفتيته كيماوياً قبل إعادة تشكيله. المطاط المنتج بهذه الطريقة يسمى المعاد تقسيته (Revulcanization)، وعادة ليس بقوة المنتج الأصلي. كبديل لإعادة التقسية فإن استخدام المطاط المفتت في رصف الأسفلت يتم تطويره بواسطة المهندسين. استخدام آخر لإطارات المطاط الكهنة هو لتزيين ملاعب الأطفال. بعض من الإطارات الكهنة يستخدم في محطات إنتاج الطاقة ومصانع الأسمنت كوقود. إطارات المطاط توفر طاقة أعلا من الطاقة المنتجة من الفحم وتحترق أكثر نظافة. درجات الحرارة حتى 1900°م تدمر معظم الملوثات العضوية. كما أن المنسوجات الكهنة يعاد استخدامها وكذلك يعاد استخدام زيت محرك السيارة.

الفصل عند المصدر : (Source Separation)

قبل استخدام المادة القابلة للتدوير فإنه يجب فصلها من كتلة المخلفات وفرزها مع المواد الأخرى من نفس النوع أو الدرجة، يمكن فصل هذه المواد القابلة للتدوير عند مصدرها أو نقطة إنتاج المخلفات بواسطة صاحب النشاط أو صاحب المنزل، أو يمكن الفصل في مصنع مركزي لمعالجة وتداول المخلفات.

٥- الردم الأرضي الصحي : (Sanitary Land Fills)

من أقدم الطرق وأكثرها استخداماً للتخلص النهائي من المخلفات الصلبة هو الردم الأرضي. التخلص من المخلفات الصلبة فوق سطح الأرض في شكل أكوام لم يعد يستخدم حالياً نظراً لما يسببه من تلوث للبيئة ونقل للأمراض ومأوى للزواحف والحشرات والحيوانات الضالة وروائح كريهة واحتمالات حدوث حرائق هذا بالإضافة إلى ما يسببه من تلوث للمياه السطحية والجوفية. حالياً يتم التخلص من المخلفات الصلبة في حفر الردم الأرضي الصحي. وهذه عبارة عن إنشاء هندسي مصمم للتخلص من المخلفات الصلبة،

أى أنه مصمم ومنشأ ويتم استخدامه بطريقة بيئية صحيحة لا تهدد الصحة العامة أو الأمن، كما تقلل من المضايقات مثل الهوام والروائح..الخ.

توجد ثلاث خواص أساسية لحفر الردم الأرضى الصحى تميزها عن الردم فى كومات فوق سطح الأرض :

١- توضح المخلفات الصلبة فى موقع الردم الأرضى (المبطن) الذى يتم اختياره بعناية وبطريقة صحيحة.

٢- تنشر مادة المخلفات ويتم دمكها باستخدام ماكينة دمك ثقيلة مناسبة.

٣- تغطى المخلفات كل يوم بطبقة من التربة المدموكة ربما أن تكون أهم المظاهر الحديثة لتصميم حفرة الردم الأرضى هو التقنيات المستخدمة فى منع تلوث المياه الجوفية.

الطاقة الكلية والعمر التصميمى لمنطقة الردم الأرضى الجديدة يتوقف على حجم وطبوغرافية الموقع، معدل إنتاج المخلفات، درجة الدمك للمخلفات. كمية مادة التربة اليومية للتغطية تضيف تقريباً ٢٠% إلى الحجم الكلى للملء كما يجب أخذها فى الاعتبار عند تقدير طاقة منطقة الردم الأرضى. يجب أن يتوفر الحجم الكافى خلال منطقة العمل للموقع بحيث تتوفر لمنطقة الردم الأرضى عمر تصميمى قدره ٢٥ عاماً. كلما زادت فترة عمر الخدمة المفيد للموقع، كلما كانت عملية إدارة المخلفات الصلبة اقتصادية للمجتمع المخدم. عموماً بالنسبة لطاقة منطقة الردم الأرضى فإن المقبول هو واحد هكتار من الأرض مغطاة لعمق واحد متر أو واحد فدان مغطى لعمق ٨ قدم، مع دمك المخلفات، وذلك لخدمة ١٠٠٠٠ شخص. المثال الآتى يوضح الحسابات المتعلقة بطاقة الردم الأرضى.

مثال :

تجمع سكنى تعداده ١٥٠٠٠ نسمة ينتج مخلفات بمعدل ٥ رطل للفرد يومياً. المتاح منطقة ردم أرضى بمساحة ٢٥ هكتاراً، ذات عمق متوسط للمخلفات المدموكة محدد بحوالى ٢٠ قدم طبقاً للطبوغرافية المحلية للأرض. يقدر أن المخلفات المدموكة سيكون لها وحدة وزن ١٠٠٠ رطل/الياردة المكعبة وأنه سيؤخذ ٢٥% إضافى من الحجم بواسطة مادة التغطية. ما هو العمر المفيد لمنطقة الردم الأرضى.

الحل :

الوزن الكلى للمخلفات المنتجة فى العام هو .

$$5 \text{ رطل للفرد} / \text{اليوم} \times 365 \text{ يوم} \times 15000 \text{ فرد} \\ 27,4 \times 10^6 \text{ رطل/العام}$$

$$\text{الحجم السنوى الكلى للمخلفات} = 27,4 \times 10^6$$

$$\text{عدد الياردات المكعبة فى العام} = 27400 \text{ ياردة مكعبة.}$$

الحجم الإضافى لمادة التغطية هو :

$$25,0 \times 27400 = 685000 \text{ ياردة مكعبة/العام.}$$

لذلك الحجم الكلى لمنطقة الردم الأرضى المطلوب هو :

$$27400 + 68500 = 95900 \text{ ياردة مكعبة/العام.}$$

الحجم المتاح لمنطقة الردم الأرضى =

$$25 \text{ هكتار} \times \frac{43560 \text{ قدم مربع}}{1 \text{ هكتار}} \times \frac{1 \text{ ياردة مكعبة}}{27 \text{ قدم مكعب}}$$

$$= 8,07 \times 10^6 \text{ ياردة مكعبة.}$$

العمر المفيد للموقع يقدر بالآتى :

$$8,07 \times 10^6 \div 95900 = 84 \text{ عام.}$$

ملحوظة :

بعد نهاية عمر الخدمة لمنطقة الردم الأرضى يستفاد منها فى إقامة الملاعب والمنتزهات والمساحات الخضراء وملاعب الجولف..الخ.

مثال :

قدر عدد الهكتارات من الأراضى ستكون مطلوبة لعمل موقع الردم الأرضى الصحية طبقاً للحالات الآتية :

العمر التصميمي للموقع ٣٠ سنة.

المعدل اليومي لإنتاج المخلفات ٢٥ نيوتن/ الفرد/ اليوم.

وزن وحدة الوزن في المخلفات الصلبة المدمجة ٥ كيلو نيوتن/ المتر المكعب

متوسط عمق الملء ١٠ متر.

تعداد السكان ٥٠,٠٠٠.

الحل :

كمية المخلفات المنزلية الصلبة المنتجة كل عام هي :

$$25 \times N \text{ للفرد} \times 365 \text{ يوم} \times 50000 = 4,56 \times 10^6 \text{ KN/ العام}$$

$$= 4,56 \times 10^6 \text{ كيلو نيوتن في العام.}$$

حجم المخلفات المدموكة هو $4,56 \times 10^6$ كيلو نيوتن في العام

$$= 4,56 \times 10^6 \text{ كيلو نيوتن في العام} \div 5 \text{ كيلو نيوتن/ م}^3$$

$$= 91250 \text{ متر مكعب في العام.}$$

الحجم الإضافي المطلوب للتغطية بالتربة هو :

$$91250 \div 4 = 22813 \text{ متر مكعب/ العام.}$$

الحجم الكلي المطلوب هو $91250 + 22813 = 114063 \text{ م}^3$ العام.

المساحة المطلوبة تحسب كالآتي :

$$\text{المساحة} = \text{الحجم} \div \text{العمق} = 114063 \div 10 = 11406 \text{ متر مربع.}$$

حيث أن واحد هكتار = 10000 متر مربع والعمر التصميمي هو 30 سنة فإن

المساحة الكلية المطلوبة للردم الأرضي يمكن حسابها كالآتي :

$$(11406 \text{ متر مربع} \div 10000 \text{ متر مربع}) \times 30 \text{ سنة} = 34 \text{ هكتار.}$$

(أرض إضافية تكون مطلوبة لطرق الاقتراب والمباني وما شابه ذلك).

يتم اختيار مكان الردم الأرضي خارج المنطقة السكنية وبعيدا عن المسطحات المائية بمسافة لا تقل عن ٦٠ متر وبعيدة عن مهابط المطارات بمسافة لا تقل عن ١,٥ كيلومتر كما يكون عمق الحفر فوق أعلى منسوب لخط لمياه الجوفية بما لا يقل عن ٢ متر.

ملوثات غسالة التربة (Leachate Contaminant)

أماكن الردم الأرضي الصحي تنتج كميات كبيرة من السائل عالي التلوث يسمى غسالة التربة (Leachate) ويعتمد تصميم منطقة الردم الأرضي على قدرة التربة الطبيعية في ترشيح وامتصاص الملوثات. هذا المفهوم بخصوص التخفيف الطبيعي كان هو السائد، ولكن المفهوم الحديث مبنى على التحكم في الملوثات ومعالجة غسالة التربة.

بعض غسالة التربة ينتج مباشرة من الرطوبة وتحتل القمامة العضوية القابلة للتحلل في المخلفات الصلبة، ولكن معظمها يأتي من مياه الأمطار أو من المياه السطحية والتي تترشح في المخلفات ثم تتسرب إلى أسفل خلالها. الالتصاق المباشر مع المخلفات ينتج عنه تلوث شديد لهذه المباني. وفي حالة وصول مياه غسالة التربة إلى المياه الجوفية أو أن تتسرب إلى مجرى مائي فإنه يحدث تلوث خطيراً جداً.

وعموماً في المناطق الجافة لا يحدث هذا النوع من التلوث.

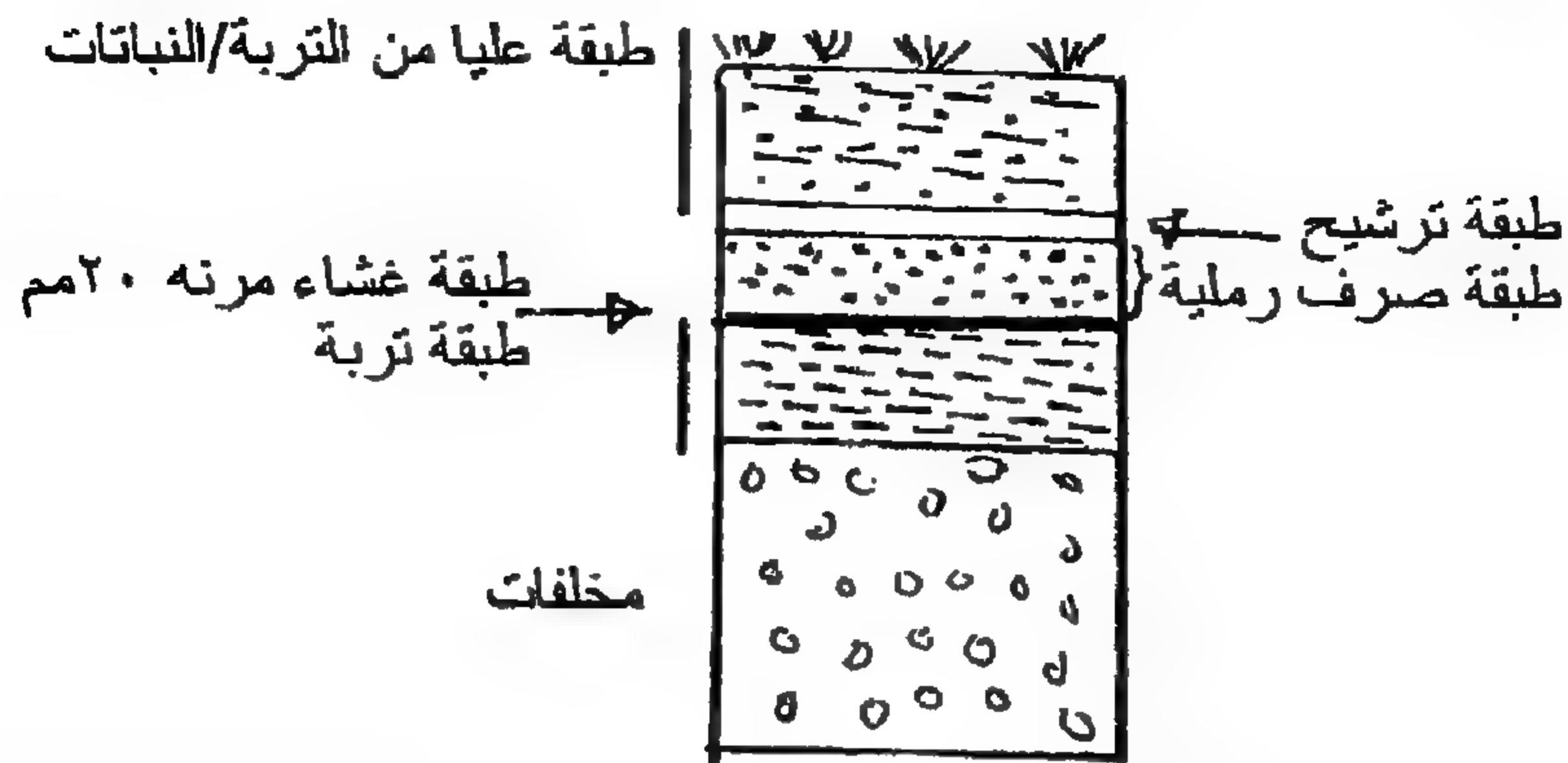
توجد طريقتين لمنع حدوث مشاكل غسالة المخلفات (Leachate) في موقع الردم الأرضي الصحي أحد هذه الطرق هي التجهيز الهندسي للموقع لمنع دخول مياه الأمطار والسيول إلى منطقة الردم الصحي وذلك بعمل حواجز وقنوات توجيه. الطريقة الثانية هي بتوفير بطانة مانعة لنفاذ المياه بين المخلفات وطبقة التربة فوق الخزان الجوفي أسفلها.

السيطرة على المياه السطحية :

يمكن التحكم في المياه السطحية وتحويلها بعيداً عن مكان الردم الأرضي بعمل الميل المناسب عموماً من ٦ - ١٢% ميل للغطاء اليومي يسمح للمياه بالصرف بحرية من منطقة الردم. القنوات المبطنة بالخرسانة أو حفر الصرف يمكن إنشاءها حول محيط الموقع لتوجيه سقوط الأمطار وجمع المياه من الموقع.

الغطاء النهائي أعلى منطقة الردم التي استكملت ينشأ بحيث يكون مانع لنفاذية المياه ويمنع تسرب مياه الأمطار فوق منطقة الردم الأرضي مباشرة، حيث يصمم ويدير لمنع وصول المياه إلى المخلفات في الردم. الغطاء يمكن أن يتكون من طبقة من التربة بسمك

لا يقل عن ٦٠ سم بميل من ٣ - ٥%، ويكون أسفلها طبقة صرف من تربة رملية وطبقة من بطانة غشائية مرنة ذات نفاذية من التربة. شكل (٤/٨).

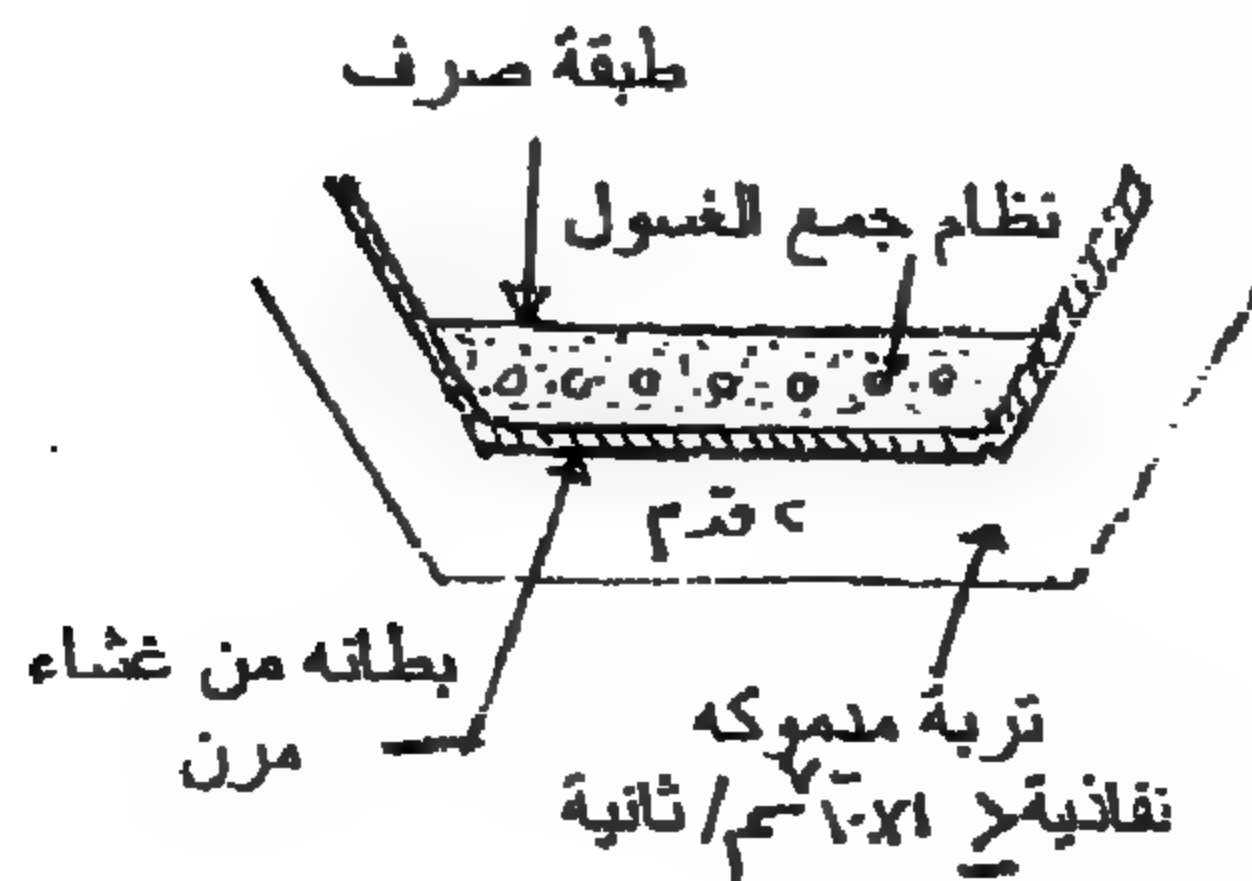


شكل (٤/٨) الغطاء النهائى لمنطقة الردم الأرضى للمخلفات المنزلية الصلبة

تبطين القاع : (Bottom Liners)

معظم مدافن الردم الصحى يتم إنشاءها بواسطة بطانة مركبة من مادة مخلقة فوق طبقة من الطفل بسمك ٦٠ سم، وهذه تكون حاجز غير نفاذ الذى يحتوى غسالة التربة ويمنعها من الاختلاط مع المياه الجوفية. (فى بعض الحالات يمكن تغيير سمك ومكونات تبطين قاع حفرة الردم الصحى طبقاً للظروف المناخية والمحلية والهيدرولوجية).

المادة المخلقة تكون عادة من البولى إيثيلين على الكثافة وتسمى البطانة الغشائية المرنة وتوضع فوق طبقة أساس معدة بحرص لمنع اختراقها أو تموجها. مثال لمقطع فى طبقة مركبة موضح بالشكل (٤/٩). الطفلة يجب أن يكون لها معامل توصيل هيدروليكي أقل من ١ × ١٠^{-٦} ملليمتر/ الثانية. أى أن أى مياه الغسالة للتربة التى توجد وتدخل الطفلة ستتدفق بمعدل أقل من بوصة واحدة فى العام.



شكل (٤/٩) مقطع فى طبقة مركبة

جمع ومعالجة غسالات التربة : Leachate Collection And Treatment

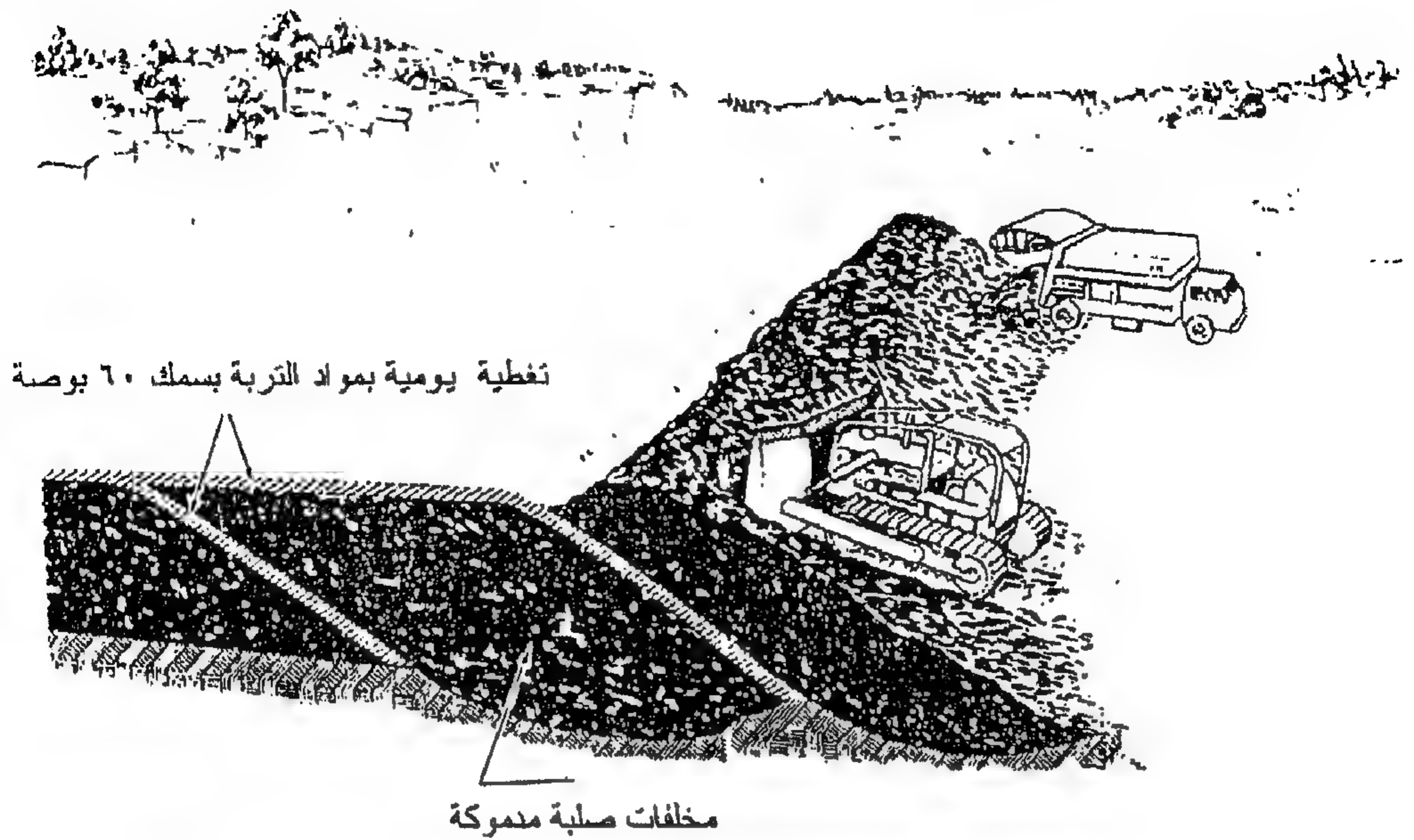
غسالات المياه التي يتم احتواءها بواسطة البطانة السفلية لا يسمح لها بالتراكم، حيث يجب جمعها ومعالجتها في موقع مركزي قبل التخلص النهائي منها. البدائل للتخلص النهائي تشمل الصرف إلى محطة معالجة الصرف الصحي، أو استخدامها في الأراضي، أو المعالجة في الموقع ثم التخلص في المجري المائي. الشبكة من مواسير البلاستيك المتقبة الموضوعة في طبقة الصرف الموجودة فوق البطانة الغير نفاذة مباشرة تستخدم عموماً لجمع غسالات التربة. المواسير المتقبة التي تسمى الفرعات (بقطر ٤ بوصة) توجه هذه المياه إلى ماسورة تجميع ذات قطر أكبر وأخيراً إلى بيارة الجمع أو محطة الضخ. يتم عمل الإجراءات اللازمة للتفتيش والصيانة لتأكيد التدفق الحر لمياه الغسالات.

مياه غسالات التربة هي عموماً مياه صرف عالية التركيز تتصف بارتفاع المحتوى من الحمل العضوي (BOD) وانخفاض الرقم الهيدروجيني (PH)، واحتمال وجود مواد سامة. وهي أحياناً وليس دائماً قابلة للمعالجة في محطات المعالجة التقليدية لمياه الصرف الصحي. بالإضافة إلى المشاكل الفنية المتعلقة بالمعالجة والتخلص، فإن هناك اعتبارات قانونية بيئية يجب أن تؤخذ في الاعتبار وكذلك مشاركة الأهالي. في حالة توفر شبكة صرف صحي قريبة وأن طاقة محطة معالجة مياه الصرف تسمح بأحمال إضافية فإنه عادة يفضل معالجة غسالات التربة هذه في محطات المعالجة المتاحة، ولكن هذه المياه من غسالات التربة قد تحتاج إلى بعض المعالجة المسبقة طبقاً لخواصها.

الإنشاء والتشغيل :

ظاهرة الإنشاء العادية لكل حفر الردم الصحي للمخلفات الصلبة المنزلية هي خلية المخلفات (Refuse Cell) وهي كتلة البناء الأساسية للردم الأرضي ويجب أن يتم إعدادها بطريقة صحيحة. طريقة المنحدر هي تلك التي يمكن استخدامها لإنشاء خلايا المخلفات كما هو موضح في الشكل (٤/١٠).

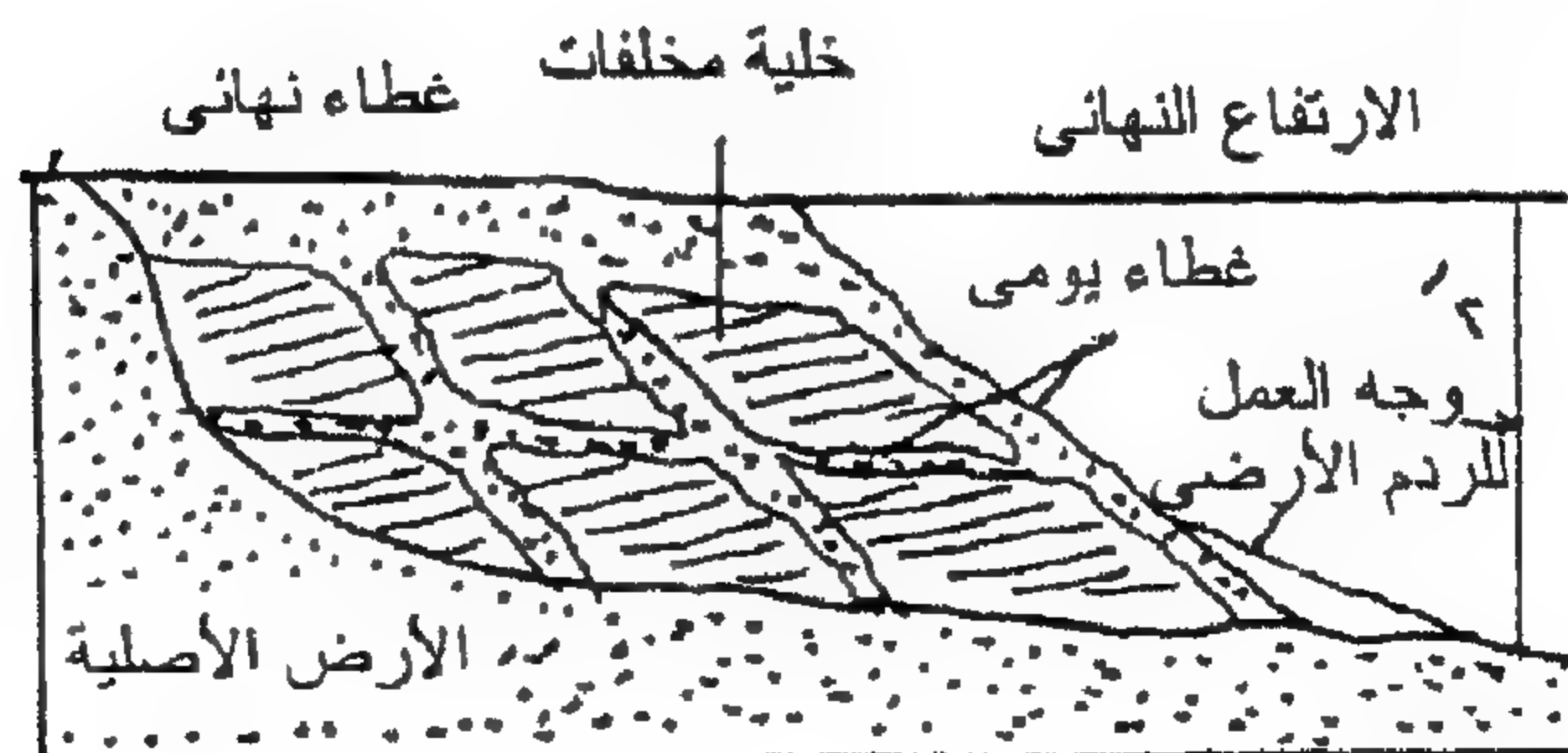
يتم نشر المخلفات القادمة ودمكها في طبقات رقيقة في جزء من الموقع. لضمان الدمك الجيد فإن هذه الطبقات عموماً لا يزيد سمكها عن واحد متر، العديد من مثل هذه الطبقات يتم وضعها ودمكها فوق بعضها البعض إلى أقصى ارتفاع قدرة ٣ أمتار. وحدة الوزن للمخلفات المدموكة هي حوالي ٦ كيلو نيوتن/ المتر المكعب (١٠٠٠ رطل/ الياردة المكعبة)، أكثر من أربعة أضعاف كثافتها المفككة الأولية عند جمعها.



شكل (٤/١٠) طريقة المنحدر لإنشاء الردم الأرضي،

حيث توضح المخلفات ويتم دمكها على المنحدر، التبتين للقاع غير موضح

عند نهاية كل يوم عمل يتم تغطية المخلفات المدموكة بطبقة من التربة والتي كذلك يمكن أن تصل إلى سمك ٦ بوصة (٥١ سم)، كلا من المخلفات المدموكة وطبقة الغطاء من التربة يعملان خلية واحدة من الردم الأرضي الصحي. العديد من الخلايا المتجاورة كلها بنفس الارتفاع يكونون الرفع (Lift)، منطقة الردم الصحي الكاملة قد تتكون من عدد من الارتفاعات كما هو موضح في الشكل (٤/١١). مادة التغطية يفضل أخذها من الموقع مباشرة أو نقلها من مكان آخر.



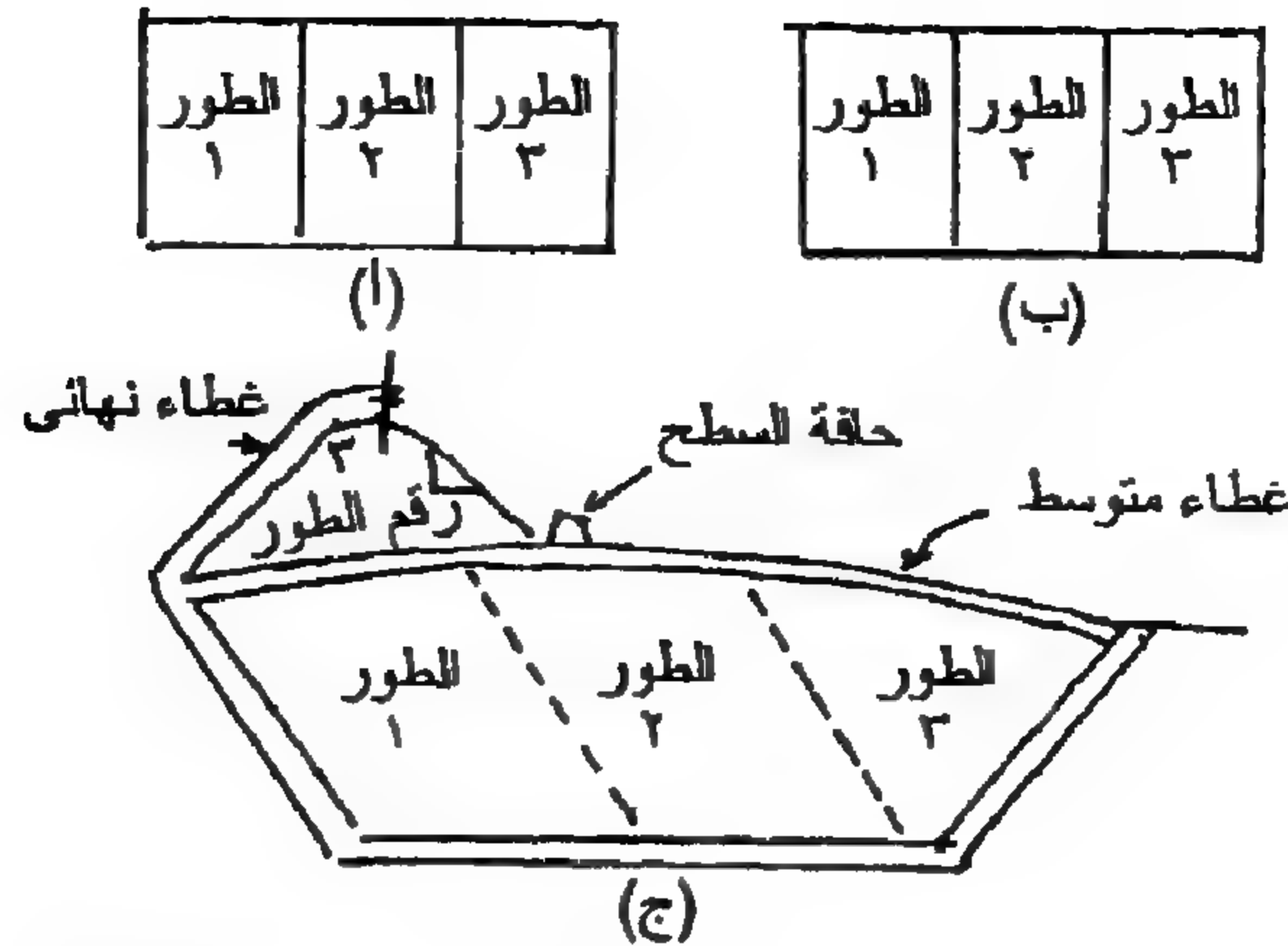
شكل (٤/١١) كتلة الردم الصحي الأساسية هي خلية مدموكة من المخلفات الصلبة، والتي تنفصل عن الخلايا الأخرى بطبقة من التربة المدموكة (تفاصيل الغطاء والبطانة السفلية غير موضحين)

التغطية اليومية بمواد التربة تفيد في أغراض عديدة، رغم أنها تستخدم جزءاً من حجم حفرة الردم الصحي، فهي تقلل الرائحة، والمخلفات التي قد تحملها الرياح، وتجنب مخاطر حدوث الحريق، كما تقلل من مخاطر انتقال الأمراض المعدية (مثال/ الفئران، الذباب) وتحسن من حالة الموقع والاقتراب منه. عندما تكون منطقة الردم الأرضي الصحي قد استكملت، فإن الغطاء الذي يوضع على أعلى طبقة يجب أن يكون مانعاً لنفاذية المياه ودخولها، كذلك يمكن تغطية هذا الغطاء بطبقة من التربة بسمك ٦ بوصة .

يلزم أنواع مختلفة من المعدات الثقيلة في موقع الردم الأرضي الصحي للمخلفات المنزلية الصلبة وذلك لنشر ودمك المخلفات وكذلك لنقل، ونشر، ودمك الغطاء من مادة التربة فمثلاً يستخدم البلدوزر للنشر والدمك.

مناطق الردم الصحي كبيرة قد تحتاج إلى العديد من المعدات الإضافية بما فيها القصائبات هذه المعدات تقوم بالحفر والنقل ونشر مادة التغطية عندما تزيد مسافة النقل عن مجال البلدوزر (حوالي ١٠٠ متر). معدات مدافن الردم الصحي الخاصة مثل معدة الدمك ذات الإطارات من الصلب يمكن استخدامها للحصول على دمك ذو كثافة أعلى للمخلفات. الإطارات الضخمة المسننة تعمل كحمل تركيز، وتوفر ضغط دمك أكبر مقارنة بالمعدات التقليدية ذات الإطارات من المطاط. خطة الأطوار (Phasing Plan) تعتبر هامة لتشغيل مدافن المخلفات الأرضية الضخمة - هذه ببساطة تعني أن مساحات مختارة من موقع دفن المخلفات يتم جدولته لاستقبال الغطاء النهائي بتسلسل معين، بعد الوصول إلى المرحلة النهائية. عندما يزيد العمق الكلي لمدفن الردم الصحي عن ٩ متر من القاع، فإنه عادة يستخدم غطاء متوسط عند منتصف العمق كما هو موضح في الشكل (٤/١٢) الغطاء المتوسط يكون من طفلة التربة بسمك ٦٠ سم (٢ قدم) فوق المساحة، يتم البدء في أطوار أخرى أعلى الأطوار السفلى.

تسلل واتجاه الملء يجب توضيحه في خطة الأطوار، يجب إعدادها لتأكيد أن كل المخلفات تم التخلص منها في مكانها النهائي. في المساحات المستوية أو حيث طريقة إنشاء المدفن الصحي بالمنحدر قد لا تكون مناسبة، يتم إعداد خندق حفر تسم تبطينة لاستقبال المخلفات شكل (٤/١٢).



شكل (٤/١٢) مسقط لأطوار الردم الأرضى متعدد الأطوار
(أ) الطور السفلى (ب) الطور العلوى (ج) المقطع.

غاز مدافن الردم الصحى : (Land Fill Gas)

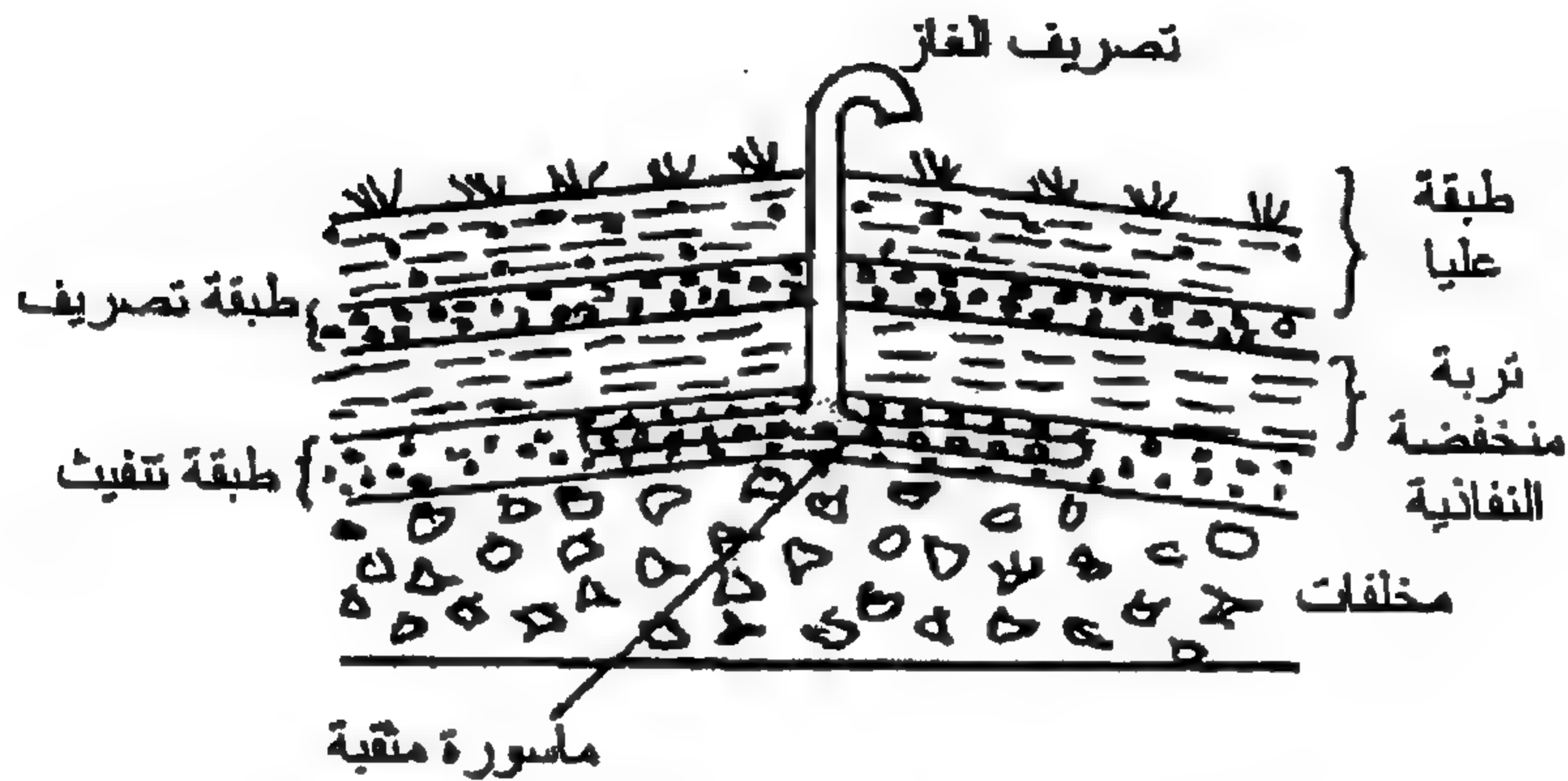
المادة العضوية المدفونة فى المخلفات الصلبة سوف تتحلل بفعل الكائنات الحية الدقيقة. معدل التحلل يتوقف أساساً على كمية الرطوبة الموجودة فى المخلفات. معدل التحلل يسير بمعدل سريع نسبياً عندما تزداد نسبة المحتوى من الرطوبة عن ٥٠% ولكن التحلل الكامل للمخلفات وتثبيت مكونات الدفن الصحى من المخلفات يستغرق حوالى ٢٠ عاماً.

أولاً، تتحلل المخلفات هوائياً حتى استخدام الأكسجين الموجود فى المخلفات التى تم وضعها طازجة بواسطة الكائنات الهوائية. ثم يستمر التحلل اللاهوائى منتجاً غاز الميثان (CH_4)، وغازات أخرى نتيجة تحلل المواد العضوية. غاز الميثان المخلوط مع الهواء بتركيزات ما بين ٥ إلى ١٥% شديد الانفجار. وهو سام كذلك ويمكن أن يسبب الوفاة بسبب استنشاقه.

غاز الميثان يسرى فى المسار حيث أقل مقاومة، حيث يمكنه الانتقال لمسافات أفقية طويلة خلال الطبقات المسامية للرمال أو للزلط. يمكن حدوث حالات خطيرة فى حالة ارتفاع الغاز إلى السطح ويتراكم فى المباني أو البدرومات أو أى مساحة مغلقة. لقد حدثت حالات انفجار خطيرة وتسببت فى فقد الأرواح فى الماضى والذي يمكن تجنبه بالتصميم والتنفيذ الجيد لمدافن المخلفات. ذلك لأن احتمال تسرب الغاز خلال خلايا المخلفات

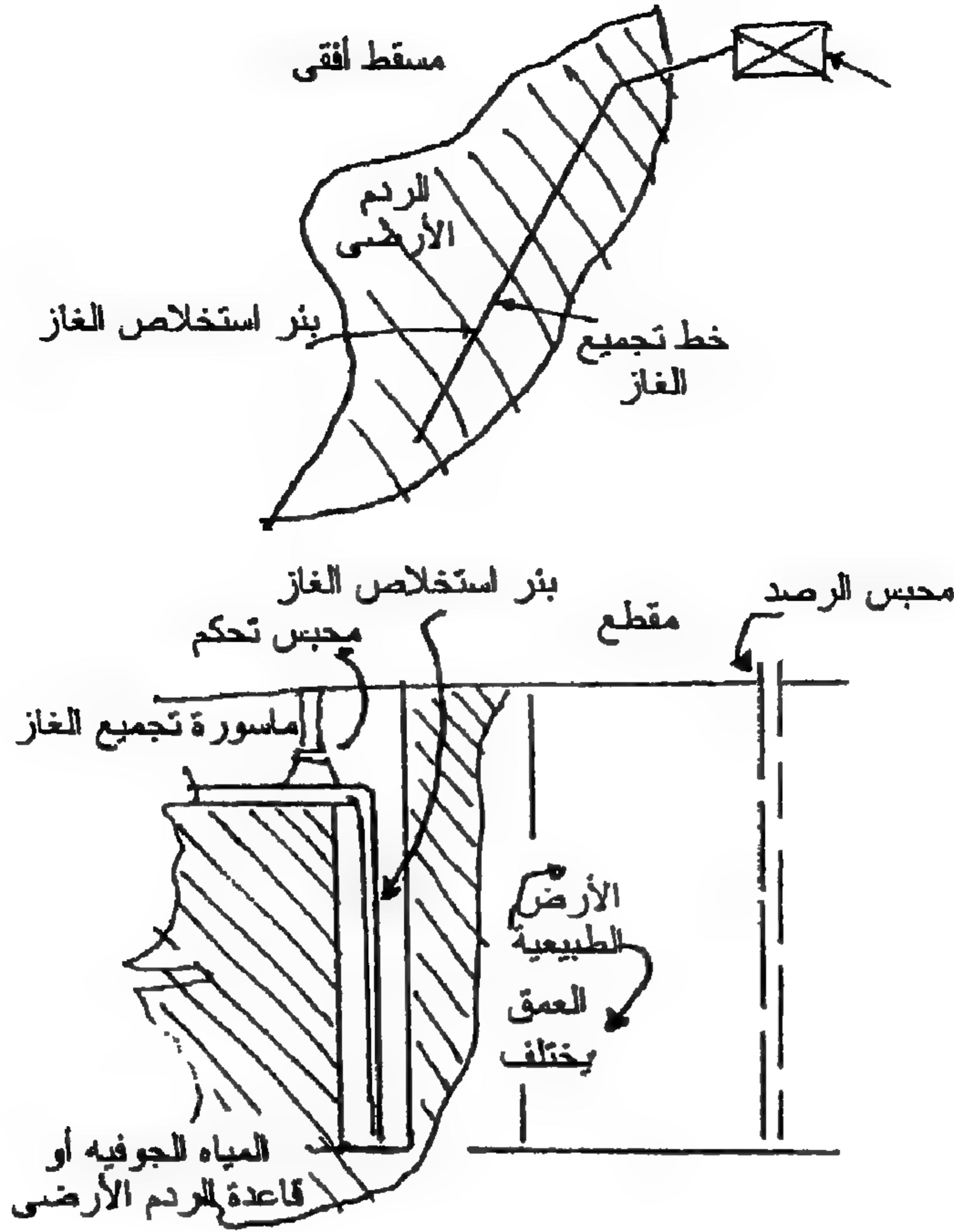
والترربة يجب أن يؤخذ في الاعتبار أثناء مرحلة تصميم منطقة الدفن الصحي للمخلفات المنزلية الصلبة.

يمكن التحكم في حركة الغاز بتوفير حواجز غير منفذة في المدفن الصحي. طبقة كثيفة بسمك واحد متر من الطفلة للرطوبة، مثلاً، سوف تعمل كحاجز ممتاز لسريان الغاز عند القاع ومحيط المدفن. يمكن إنشاء نظام تصريف الغاز لجمع المحتجز وتصريفه نحو السطح، حيث يمكن تخفيضه بأمان ونشره في الجو كما هو موضح في الشكل (٤/١٣).



شكل (٤/١٣) يمكن تصريف غاز الميثان خلال طبقة الغطاء للردم الأرضي لتخفيفه إلى أسفل المستويات الخطرة.

بدلاً من صرف الغاز في الجو يمكن جمع غاز الميثان واستخدامه كوقود. ويتضمن نظام استعادة غاز الميثان كوقود، استخدام مبدأ نفاذية الغشاء (Medmbrane Permeation) لفصل البقايا القليلة من ثاني أكسيد الكربون، النيتروجين، كبريتيد الهيدروجين من الغاز، مع ترك الميثان النقي كمنتج للبيع كوقود. مثال لنظام استخلاص الغاز من مدافن المخلفات المنزلية الصلبة موضح في الشكل (٤/١٤).



شكل (٤/١٤) استخلاص غاز الردم الأرضي

صيانة ورصد المدفن الصحي للمخلفات :

بالإضافة إلى وضع المواصفات لتصميم وإنشاء وتشغيل المدفن الصحي فإنه يجب أن تتضمن المواصفات طريقة استكماله وغلقه. وكذلك خطة التغطية النهائية للصيانة بعد ٣٠ سنة، وكذلك نظام جمع سائل غسيل التربة والمخلفات (Leachate) وطريقة تشغيله وصيانته، ورصد المياه الجوفية ورصد والتحكم في غاز الميثان، وكذلك توضيح الاستخدام المستقبلي الأرضي الموقع. وكذلك إنشاء آبار الرصد لمراقبة ورصد نوعية المياه الجوفية وأخذ عينات دورية وتحليلها بالنسبة للملوثات الغير عضوية والعضوية المتطايرة.

العلامات الأرضية لمدافن المخلفات : Land fill land marks

يجب وضع سور يحيط بمنطقة المدفن الصحي وعليه علامات تحذير لعدم اقتراب الماشية أو المواطنين لسلامتهم. وللحفاظة على وضع المدفن الصحي.

الفصل الخامس

إدارة المخلفات الخطرة (Hazardous Wastes)

١- مقدمة :

مع زيادة الأنشطة الصناعية توجد كميات كبيرة من المخلفات الخطرة نتيجة الصناعات الكيماوية والبتروولية، وصناعات الورق، أفران صهر المعادن وصناعات أخرى. حتى أن الأنشطة التجارية مثل عمليات التنظيف الجاف، والورش الميكانيكية، وإصلاح وصيانة السيارات تنتج مخلفات خطيرة. هذه النفايات الخطرة كما يتم تسميتها يمكن أن تسبب أمراضاً خطيرة، إصابات، وحتى موت للأفراد ومن هم معرضون لها، بالإضافة إلى أنها يمكن أن تسبب تهديداً مباشراً وخطراً للبيئة عند عدم التداول بالطريقة الصحيحة ما بين التعبئة والنقل والتخلص. بسبب هذه المخاطر فإن عملية إدارة المخلفات لا تسمح بخلط المخلفات المنزلية مع المخلفات الخطرة.

تختلف المخلفات الخطرة عن المخلفات الأخرى في التكوين والتأثير. فهذه عادة تكون في شكل سوائل كما يمكن أن تكون في الشكل الصلب، أو في شكل حمأة أو غازات. عادة يتم احتجاز هذه المخلفات في أوعية أو أسطوانات معدنية. يوجد مئات من الحوادث المسجلة حيث التداول أو التخلص الغير قانوني والغير مناسب لهذه المخلفات كانت السبب في إحداث الأضرار للأفراد وللبيئة. حالات كثيرة تضمنت تلوث المياه السطحية والجوفية، بما فيها إمداد المياه للشرب. في حالات أخرى تضمنت انبعاث مواد ضارة للغلاف الجوي.

عملية التعبئة والجمع والنقل والمعالجة والتخلص للنفايات الخطرة تتطلب عناية خاصة. ومنذ سنوات مضت فإن معظم الناس لم تتفهم جيداً أو تستوعب كيف أن هذه الأنواع من المخلفات يمكن أن تحدث خطورة على الصحة العامة وعلى البيئة الطبيعية. وكثير من المخلفات الخطرة كانت تترك ببساطة في الهواء الطلق على الأرض، أو توضع في حفر أو في برك أو يلقي بها في الأنهار. نتيجة لهذا العمل وجد آلاف من مواقع المخلفات الخطرة التي يصعب السيطرة عليها بما فيها المستودعات، المصانع، الردم الأرضي (Land fills). أحد أهم المشاكل البيئية التي تواجه هذه المجتمعات حالياً هو التحدي بالنسبة لمعرفة الأماكن والمحتويات والعلاج لهذه المواقع القديمة لحماية الصحة

العامة ونوعية البيئة بالإضافة إلى الحاجة إلى علاج تلك المخلفات الخطرة التي لم يتم السيطرة عليها بالطريقة الصحيحة، فإن متطلبات التصميم الحديث بالنسبة للمعالجة المناسبة، التعبئة والتخلص للجيد من هذه المخلفات الخطرة أصبح شديد التعقيد ومكلفاً جداً فمثلاً حالياً يستخدم بطانة من المواد المخلقة (البلاستيك) كأحد صور الإنشاء الكثيرة المستخدمة في حفر الردم الحديثة للمخلفات، حيث يتم تغطية هذه البطانة بطبقة من التربة لحمايتها من التلف.

في عام ١٩٧٠ ظهر الاهتمام بخطورة مشكلة المخلفات الخطرة وفي عام ١٩٧٦ في الولايات المتحدة تم إقرار أول قانون للتعامل معها على المستوى القومي بواسطة الكونجرس. وهو قانون (Resource, conservation, recovery act or RCRA) - لإدارة المخلفات الخطرة. وتم إقرار هذا القانون بواسطة الوكالة الدولية للمحافظة على البيئة (EPA). وفي عام ١٩٨٠ صدر قانون فيدرالى آخر لتوفير حوافز لتنظافة كثير من المخلفات الخطرة المنتشرة والغير مسيطرة عليها في تلك المواقع قبل إصدار قانون (RCRA).

ثم قامت (EPA) بتنفيذ إدارة النفايات الخطرة تحت قانون (RCRA) من نقطة الإنتاج إلى التخلص النهائي والذي يدعى نظام المهد إلى اللحد (Cradle to Grave). كذلك تم تأسيس متطلبات التصميم للردم الأرضى للمخلفات الخطرة. في عام ١٩٨٤ حيث تم تقوية القانون (RCRA) بتعديلات المخلفات الصلبة الخطرة، حيث أصبح واضحاً أنه حتى التخلص المنظم جيداً في الأرض يمكن أن يسبب أضراراً بالبيئة وأن مشاكل المخلفات الخطرة يمكن حلها بالتخلص في التربة فقط. ثم التأكيد والاهتمام على المعالجة المؤثرة قبل التخلص النهائي في الأرض حيث يمكن تثبيت وتعادل المخلفات بتغيير خواصها الكيماوية والطبيعية.

والآن، أصبح معلوماً جيداً أنه حتى التحكم الجيد نحو التخلص في الأرض مع تقنيات المعالجة لا يمكنه توفير الحل الكامل لمشكلة هذه المخلفات الخطرة. حيث يكون إلزاماً خفض كميات النفايات الخطرة من بدء إنتاجها، وحيثما كان ذلك اقتصادياً يتم إعادتها تماماً. خفض الملوثات (باستخدام التقليل لها من المنبع مع التدوير) أصبح الآن استراتيجية إدارة المخلفات الخطرة (وكذلك المنزلية) في كثير من دول العالم. وقد ساهمت (EPA) في خفض المخلفات بتوفير الإرشادات الفنية ومساعدة منتجيها، كما تساهم بعض الدول في هذا المجال.

توجد بدائل متعددة لإدارة المخلفات الخطرة والتخلص منها. يمكن تلخيصها كالآتي :

١- إبعاد أو خفض كميات المخلفات من المنبع وذلك بتعديل وتطوير عملية التصنيع والتقنيات الأخرى.

٢- استعادة وتدوير المخلفات، واستخدامها كمورد لعمليات صناعية أخرى.

٣- تثبيت المخلفات، حيث تصبح غير خطرة باستخدام العمليات الكيماوية والبيولوجية والطبيعية المناسبة.

٤- حرق المخلفات عند درجة حرارة عالية بما يكفي لإتلافها أو لعدم سميتها.

٥- توفير التخلص الحديث بالرمد الأرضي وذلك بعد عمل بعض أشكال المعالجة المناسبة وإزالة الملوثات.

يجب ملاحظة أن هناك فرق بين المخلفات الخطرة والمواد الخطرة. فالمخلفات الخطرة هي نتيجة بعض العمليات أو الأنشطة، بينما المواد الخطرة هي الجديدة أو التي لم تستخدم . ولكن في هذه الدراسة سيتم التركيز على إدارة المخلفات الخطرة وليس المواد الخطرة.

٢- الخواص والكميات :

الإدارة المؤثرة للمخلفات الخطرة تتطلب وسائل واضحة وغير مبهمّة للكشف والتعرف على نوع المخلفات المطلوب إدارتها وتنظيمها. تعريف المخلفات الخطرة يجب أن يكون قابلاً للاستخدام وسهل إلى حد معقول. كذلك فإن استخدام المصطلحات الفنية يجب أن تكون محددة ودقيقة. فمثلاً كثير من الناس يستخدم تعبيرات مثل السمية أو الخطورة. ولكن هذا ليس بالدقة المطلوبة، بالإضافة إلى هذا فإنه يلزم لإعداد خطة الإدارة لهذه المخلفات توفير البيانات عن مصادر وكميات هذه المخلفات.

تعريف النفايات (المخلفات) الخطرة :

التعريفات المعلنة والتصنيف للمخلفات الخطرة تختلف. ففي الولايات المتحدة تعرف بقانون إدارة المخلفات الخطرة (RCRA) لتكون خطيرة في حالة أن تكون سبباً في أو أن تساهم بشكل كبير في زيادة الوفيات أو في الزيادة الحادة للأمراض المستعصية أو في إضعاف أمراض العكوس (Reversible Illness)، أو في إحداث خطورة على صحة الإنسان أو البيئة في حالة عدم معالجتها أو تخزينها أو نقلها أو التخلص منها أو أي شكل من أشكال الإدارة بطريقة غير ملائمة . هذا يعطى نظرة كبيرة على المخلفات الخطرة،

ولكن ليس تعريفاً محدداً يمكن العمل به، حيث يلزم بيانات أكثر وضوحاً لتسهيل ودقة التعرف على مخلفات معينة ما إذا كانت خطرة أم لا.

البيانات الضرورية لتعريف المخلفات الخطرة تم وضعها بواسطة وكالة حماية البيئة (EPA - Environmental Protection Agency) أولاً، يمكن تعريف المادة أنها خطرة في حالة تعيينها في القوانين الفدرالية. وهذا تعريف مباشر وطريقة واضحة لتعريف المنتجين للمخلفات عما يجب عمله في إدارة المخلفات كمواد خطرة، في حالة وجودها في الكشف فإنها تعتبر مادة خطرة. البيانات المتوفرة لدى (EPA) تشمل مخلفات من مصادر غير محددة، مخلفات من مصادر محددة، ومنتجات كيميائية تجارية معينة.

المخلفات من مصادر غير محددة عادة تنتج بالعمليات الصناعية وتشمل مواد مثل مذيبات إزالة الشحوم، مخلفات الداايوكسين (Dioxin) ومواد أخرى شديدة الخطورة التي تنتج من مصانع متعددة. المخلفات من مصادر محددة تشمل تلك التي من صناعات معروفة مثل صناعة تكرير البترول أو حفظ الأخشاب وكذلك تشمل مياه الصرف، الحماة، ومخلفات أخرى. المنتجات الكيميائية التجارية تشمل الأحماض الغير مستخدمة (Discarded)، الكلوروفورم، الكريوزوت (Creosote)، المبيدات الحشرية مثل مادة DDT. كذلك فإن مخلفات تحتوي على نوع من المخلفات مدرج كمخلفات خطرة بصرف النظر عن نسبتها (وهذا يمنع المنتجين من القيام بعملية التخفيف السهلة لمخلفاتهم المدرجة كخطرة مع المخلفات الغير خطرة للتهرب من لوائح (RCRA)).

في حالة عدم وجود المادة في بيانات (EPA) عن المخلفات الخطرة، فهذا لا يعنى أنها غير خطرة، حيث تظل تعرف كخطرة إذا توفرت لها الصفات المقاسة للمخلفات الخطرة. الخواص الأربع الرئيسية بالنسبة للخواص الكيميائية والطبيعية لوكالة حماية البيئة (EPA) هي السمية، التفاعلية (Reactivity)، القابلية للاحتراق (Ignitability)، العدوانية محدثة تآكلا للمادة (Corrosivity). نوعين إضافيين من المواد الخطرة تشمل المخلفات التي إما أن تكون معدية أو مشعة (لاحظ أن السمية هي واحد فقط من بين الخواص المتعددة للمخلفات الخطرة، ولذلك فإن تعبير السمية لا يتم استخدامه كمرادف لتعبير الخطورة).

السمية : (Toxicity)

المخلفات السامة، هي سموم ولو كانت في كميات صغيرة جداً، بعضها يمكن أن يكون له تأثير حاد أو فوري على الإنسان والحيوان، مسبباً الوفاة أو المرض الشديد. البعض الآخر يمكن أن يكون له تأثير مسيئاً ضرراً يصعب علاجه للأشخاص

المعرضين. مخلفات سامة معينة تعرف بأنها مسببة للسرطان (أحيانا سنين كثيرة بعد التعرض الأولى). البعض الآخر يحدث تحول بيولوجي في الأطفال (Mutagenic) أو نسل الإنسان والحيوان المعرض.

معظم المخلفات السامة تكون منتجة من الأنشطة الصناعية بما فيها صناعة الكيماويات، المبيدات، البويات، منتجات البترول، المعادن، المنسوجات، ومنتجات أخرى كثيرة. سمية أي مخلفات معينة تتحدد طبقا لاختبارات وكالة حماية البيئة الموصفة والتي تسمى طريقة الغسيل لخواص السمية (TCLP Toxicity Characteristics Leaching Procedure). تستخدم هذه الطريقة لتعيين قابلية التحرك والانتقال (Mobility) للمركبات العضوية وغير عضوية الموجودة في المخلفات. هذه الطريقة تحاول محاكاة حالات المخلفات التي يمكن أن يتعرض لها في الردم الأرضي (Land fill)، وذلك بتوضيح القدرة الحركية لهذه المركبات. عموماً، يتم تحليل حجم من عينة ممثلة للواقع للمخلفات لمعرفة ما إذا كانت تحتوي على أكثر من التركيز المسموح به أو على واحد أو أكثر من مواد سامة معينة مدرجة بواسطة (EPA). المدرج هو ٣٩ مادة كيماوية عضوية وغير عضوية. بيان مختصر يوضح بعض من الكيماويات السامة كما في الجدول الآتي وهو بيان مختصر للتوضيح فقط.

أقصى تركيز للملوثات بطريقة الغسيل لخواص السمية (TCLP) :

الملوثات	أقصى مستوى للتركيز (ملجرام/لتر)
الزرنينخ	٥,٠
البنزين (C ₆ H ₆)	٠,٥
رابع كلوريد الكربون	٠,٥
الكلوردين (Chlordane)	٠,٠٣
الكلوروفورم	٦,٠
الكروميوم	٥,٠
الاندرين Endrin	٠,٠٢
الرصاص	٥,٠
الزئبق	٠,٠٢
بنثا كلورو فينول	١٠٠,٠
الفضة	٥,٠
التراي كلوروايثلين	٠,٥
الفينيل كلورايد	٠,٢

خواص أخرى للمخلفات الخطرة :

المخلفات ذات القدرة التفاعلية تكون غير مستقرة وتميل إلى التفاعل بعنف مع الهواء، الماء أو مواد أخرى. التفاعلات تسبب انفجارات أو تكون أبخره شديدة الأذى وأدخنة. المخلفات القابلة للاشتعال هي التي تحترق عند درجة حرارة منخفضة نسبياً (أقل من ٦٠°م) وقادرة على الاحتراق الفوري (أي أنها تمثل خطورة الحريق الفوري) أثناء التخزين، النقل أو التخلص. كثيراً من مخلفات الزيوت والمذيبات تكون قابلة للاشتعال. المخلفات الأكالة العدوانية تشمل القلويات الشديدة أو الأحماض، حيث تدمر المواد والأنسجة الحية بالتفاعل الكيماوى. يستخدم الرقم الهيدروجينى (pH) كمؤشر لهذه الخاصية، حيث السوائل ذات الرقم الهيدروجينى أقل من (٢) وأكبر من (١٢,٥) تعتبر عدوانية. مثل هذه المخلفات يمكن أن تسبب الصدا أو التآكل للصلب الغير محمى بمعدل أكبر من ٦ ملليمتر فى العام عند درجة حرارة حوالى ٥٥°م.

المخلفات المعدية أو المخلفات الطبية تشمل الأنسجة الأدمية نتيجة العمليات الجراحية، الأربطة والإبر المستخدمة تحت الجلد، المواد الميكروبيولوجية ومواد أخرى المنتجة من المنشآت الصحية ومراكز الأبحاث البيولوجية الأخرى. هذا النوع من المواد يجب تداوله والتخلص منه بطريقة صحيحة، وذلك بالاستعانة بإرشادات (EPA) لتجنب العدوى وانتشار الأمراض.

المخلفات المشعة، وخاصة المخلفات المشعة ذات المستوى العالى من محطات الطاقة النووية، هذه تعتبر كذلك من المخلفات الخطرة. الإفراط فى التعرض للأشعة المتأينة يمكن أن يسبب أضراراً للكائنات الحية. المواد المشعة يمكن أن تستمر فى البيئة لآلاف السنين قبل أن تتآكل. بسبب التعقيدات الفنية لهذه المشكلة، فإن التخلص من المواد المشعة يعتبر دائماً منفصلاً عن باقى أنواع المخلفات الخطرة.

رغم هذا فإن تلك المخلفات التى تبدى خواص المخلفات الخطرة، يمكن استثناءها من اللوائح. تلك المخلفات تشمل طفلة الحفر، أو المخلفات التى يعاد تدويرها مثل بطاريات الرصاص الحامضية.

ولقد أقرت EPA أنه حتى عام ١٩٨٠ تم التخلص من ١٠% من المخلفات الخطرة بطريقة بيئية صحيحة. وكثير منها تم التخلص منه فى التربة بدون تبطين، أو فى أكوام من المخلفات أو فى حفر حيث تسبب تهديداً للصحة العامة ولتنوع البيئة.

مصادر المخلفات وكمياتها :

طبقاً لقانون (RCRA) فإن المنتج أو المولد للمخلفات الخطرة يكون مسئولاً عن التعرف والكشف عنها، والمنتج هو أى شخص أو شركة المنتج لمادة مدرجة بواسطة (EPA) كخطرة أو أن لها من الخواص المعروفة للمخلفات الخطرة. إنه يكون من واجب المنتج تحليل كل المخلفات الصلبة لتعيين ما إذا كانت تقابل تعاريف (RCRA) أو أنها ضمن محتويات الكشف. بمجرد التعرف على المخلفات أنها خطرة فإنها تصبح خاضعة لقانون (RCRA)، والمنتج يتحمل المسؤولية القانونية نحو الإدارة المناسبة والتخلص لهذه المخلفات.

تم تعريف ثلاثة من المنتجين بواسطة (RCRA)، متضمناً الكمية الكبيرة، الكمية الصغيرة، والمنتجين للكميات صغيرة مهمة. منتجو الكميات الكبيرة ينتجون ما يزيد عن ١٠٠٠ كجرام (٢٢٠٠ رطل) من المخلفات الخطرة فى الشهر أو ما يزيد عن واحد كيلو جرام (٢,٢ رطل) من المواد شديدة الخطورة فى الشهر. المخلفات ذات الخطورة الشديدة هى تلك التى تعتبر خطيرة حتى أن الكميات الصغيرة يتم إدراجها بنفس الطريقة مثل الكميات الكبيرة للمخلفات الخطرة الأخرى، وهذه يتم تعريفها وتحديد كمخلفات شديدة الخطورة فى محتويات كشوف وكالة حماية البيئة (EPA).

أما بالنسبة لمنتجي الكميات الصغيرة حيث يتراوح الإنتاج ما بين ١٠٠ ، ١٠٠٠ كيلو جرام فى الشهر أو أقل من ١ كجرام من المخلفات شديدة الخطورة فى الشهر. من بين المنتجات الصغيرة الخطيرة هى أماكن التنظيف الجاف وكذلك محطات خدمة السيارات. منتجو الكميات الصغيرة المهمة حيث يقل الإنتاج عن ١٠٠ كجرام من المخلفات الخطرة فى الشهر.

منتجو كميات المخلفات الكبيرة والصغيرة يجب أن يخضعوا لقانون (RCRA) بما فيه الحصول على رقم للتعريف بالمادة طبقاً لـ (EPA)، التداول الصحيح للمخلفات قبل نقلها، مع عمل التقارير والتسجيلات. فى حالة المخلفات الصغيرة المهمة فإنها لا تتطلب رقم العينة من (EPA). التداول الصحيح قبل النقل يتطلب التعبئة لمنع التسرب وكذلك الملصقات على المخلفات المعبأة لمعرفة خواصها ومخاطرها. منتجو الكميات الكبيرة يمكنهم تجميع المخلفات فى الموقع لمدة لا تزيد عن ٩٠ يوم فى حالة تخزينها جيداً ووضع الملصقات عليها مع وضع خطة طوارئ مكتوبة.

بالنسبة لمنتجات الكميات الصغيرة يمكنهم تجميع المخلفات لمدة حتى ١٨٠ يوماً. المخلفات الخطرة تنتج بواسطة عمليات صناعية وغير صناعية كثيرة ومتعددة حيث يصعب حصرها هنا. حوالى نصف هذه المنتجات يكون من الصناعات الكيماوية والباقي يكون من صناعات البترول والإلكترونيات والصناعات المعدنية وصناعات أخرى كثيرة. مثال لأنواع المخلفات الخطرة المنتجة من الصناعات الكيماوية تشمل المذيبات المستهلكة، ومواد قاع التقطير (أسييتون، بنزين، تولوين، ترائى كلوروايثلين، .. الخ)، الأحماض القوية (النيتريك، الكبريتيك، الهيدروكلوريك .. الخ)، والقلويات القوية (مثل ايدروكسيد الأمونيوم، والبوتاسيوم .. الخ)، والمخلفات المتفاعلة (برمنجنات الصوديوم، سلفيد البوتاسيوم .. الخ). منتجات الصناعات المعدنية تنتج مخلفات الطلاء المعدنى المستهلك، حمأة المعادن الثقيلة، مخلفات السيانييد، حامض الكروميك، وأخرى كثيرة .. الخ. توجد أنواع كثيرة يصعب حصرها ولكن القاعدة الآن هى التركيز على خفض المخلفات والعمل على التدوير وإعادة الاستخدام.

المخلفات المنزلية الخطرة :

تمثل المخلفات المنزلية الخطرة حوالى ١% من إجمالى المواد الصلبة من المخلفات، ولكن عند عدم التخلص منها بطريقة صحيحة فإنها يمكن أن تحدث مشاكل حادة للإنسان وللبيئة. يجب عدم الخلط بين المخلفات المنزلية الخطرة مع القمامة المنزلية.

يمكن تراكم حوالى ٤٥ كيلوجراماً (١٠٠ رطل) من المواد الخطرة فى البدرومات المنزلية (Basement) الجراجات، غرف التخزين لمتوسط المنزل فى أمريكا. هذه المواد تشمل البويات المتبقية، الورنيشات، الصبغات، البطاريات، زيوت المحرك، والمبيدات الحشرية. وهذه أحياناً يتم التخلص منها بطريقة غير صحيحة فى شبكة الصرف الصحى، على الأرض، أو بخلطها مع المخلفات المنزلية العادية. كثيراً من هذه المخلفات يمكن أن يسبب الضرر للعاملين فى مجال التصحاح، وكذلك تسبب تلوثاً لنظام معالجة مياه الصرف، بالإضافة إلى تلوث الهواء والمياه السطحية والمياه الجوفية، يمكن خفض هذه المخاطر بتقليل استخدام المنتجات الخطرة، ونقل المخلفات الخطرة المنزلية إلى منطقة جمع المخلفات الخطرة المحلية فى حالة وجودها. ولقد قامت بعض الجهات بتدوير وإعادة الاستخدام لمثل هذه المخلفات مثل زيت المحرك، البويات، المذيبات.

٣- نقل المخلفات الخطرة :

أحد أهم القوانين المنظمة لتداول المخلفات الخطرة فى الولايات المتحدة هو (RCRA) حيث فى البند (C) من هذا القانون، فإنه أعطيت لوكالة حماية البيئة (EPA) المسئولية فى

وضع ومراقبة تنفيذ نظام إدارة المخلفات الخطرة على المستوى القومى. بالإضافة إلى تشخيص المخلفات الخطرة الخاضعة للقانون، قامت (EPA) بوضع المواصفات والضوابط المتعلقة بنقل ومعالجة وتخزين والتخلص من المواد الخطرة. وفي مجال نقل المواد الخطرة، فإن المخلفات المنتجة من مصدر معين تتطلب الانتقال إلى مكان مرخص له بالمعالجة الصحيحة، التخزين أو التخلص. نظراً لأن هذه الأنشطة الثلاثة ذات علاقة قريبة من بعضها، حيث أشير إلى أماكنها بطرق بالمعالجة والنقل والتخلص (TSDF's - Treatment, Storage, Disposal Facilities). تحرك أو نقل المخلفات من مصدرها إلى (TSDF's) يتطلب الحرص والحذر بسبب ما قد تسببه من أضرار لنوعية البيئة وسلامة الصحة العامة. ليس فقط لاحتمال الانسكاب الغير متعمد، حيث كان القائمين على نقل المخلفات الغير مدققين وغير حذرين بالتخلص من المخلفات في أماكن عشوائية أو بفتح المحبس والتخلص منها مع السير في الطريق. هذا العمل الغير قانونى (والذى يسمى التخلص في منتصف الليل) تم مقاومته بقانون وقرارات (RCRA).

المخلفات الخطرة عند تحركها من مصدرها يتم نقلها في مركبات على الطريق الرئيسية بطول لا يقل عن ١٦٠ كيلو متر. الكميات الصغيرة فقط من المخلفات الخطرة تنقل بالسكك الحديدية ولا يتم النقل بالطائرات أو بالنقل النهري. يمكن نقل المخلفات في عربات بها خزانات من سبائك الصلب أو الألومنيوم ذات طاقة ما بين ٧٦٠٠ إلى ٣٤٠٠ لتر. ويمكن كذلك نقلها في براميل سعت ٢٠٠ لتر.

أ - نظام البيانات : (Manifest system)

أحد المظاهر الهامة لقانون (RCRA) بالنسبة لنقل المخلفات الخطرة هو نظام بيانات من المهد إلى اللحد (Cradle to Grave) للسيطرة على المخلفات من مصدرها إلى التخلص النهائي. البيانات هي وثيقة مسجلة التى يجب إعدادها بواسطة المنتج للمخلفات الخطرة، مثل مصنع كيماويات أو أى صناعة أخرى. المنتج تقع عليه المسئولية الأولى نحو إدارة المخلفات وإعطاء البيانات إلى المرخص له بنقل المخلفات، مع المخلفات نفسها. القائم بالنقل يجب أن يلتزم بالقوانين نحو مواصفات سيارة النقل، وما يتم اتخاذه من إجراءات في حالة الانسكاب الغير متعمد.

يجب تسليم البيانات بواسطة القائم بنقلها إلى من يستقبلها في موقع التخزين أو المعالجة أو التخلص المرخص به. في كل وقت يتم فيه تغيير المستلم يجب التوقيع على البيانات. يتم حفظ صورة من البيانات عند كل موقع مشترك في التداول، مع إرسال

صورة من هذه إلى إدارة المحافظة على البيئة المختصة. تشمل البيانات كذلك معلومات عن المصدر، النوع، الكميات للمخلفات الخطرة.

٤- المعالجة ، التخزين والتخلص :

(TSD - Treatment, Storage and Disposal)

تشمل المعالجة التخزين التخلص طرق مختلفة كثيرة وتكنولوجيات متعددة ونتيجة لذلك، فإن قوانين TSD أكثر من تلك المتعلقة بإنتاج ونقل المخلفات. الأفراد العاملين في مجال المعالجة والتخزين والتخلص يجب أن يكونوا مدربين وذوى مهارات عالية لتأكيد القدرة على معرفة وتداول المخلفات. كما يجب أن يتوفر لدى هذه الجهة إمكانيات التخطيط وخطط الطوارئ والمعدات والوسائل اللازمة للتفتيش ..الخ.

طرق المعالجة للمخلفات الخطرة :

بعض أنواع المخلفات الخطرة يمكن إزالة سميتها (Detoxified) أو جعلها أقل خطورة بطرق المعالجة الكيماوية، البيولوجية، الطبيعية. معالجة المخلفات الخطرة يمكن أن يكون مكلفاً، ولكن يمكن أن يساعد في إعداد المادة للتدوير أو للتخلص بطريق أكثر أمناً عن التخلص بدون معالجة. كما يمكن أن يقلل من الحجم اللازم للتخلص النهائي منه. طرق كثيرة للمعالجة المؤثرة متاحة. صناعة المعالجة للمخلفات الخطرة هي في مجال التطوير المستمر والتحديث بهدف الحصول على تقنيات معالجة منخفضة التكاليف. بعض طرق المعالجة الشائعة سيتم تناولها.

أ - عمليات المعالجة الكيماوية :

الطرق الكيماوية المستخدمة عادة في معالجة المخلفات الخطرة تشمل، الحرق، التبادل الأيوني، التعادل (Neutralization)، الترسيب، وعمليات الأكسدة - الاختزال.

ب - الحرق (Incineration)

الحرق هو عملية كيماوية - حرارية والتي لا تزال سمية مخلفات عضوية معينة فقط، بل يمكن تدميرها تماماً. الحرق طريقة مفضلة لدى البعض في إدارة المخلفات الصناعية عن الطرق الأخرى لمعالجة المخلفات الخطرة، وخاصة بسبب الضغوط الاقتصادية والأهلية نحو خفض أو عدم التخلص في التربة. احتراق المخلفات العضوية عند درجات حرارة مرتفعة جداً يحولها إلى رماد وبقايا وغازات منبعثة. الحرق يزيل

سمية المخلفات الخطرة حيث يغير من بنائها الجزيئي ويحوّله بالتكسير إلى مواد كيميائية بسيطة. رغم أن الرماد نفسه قد يلزم معالجته كمخلفات خطرة (إذا أظهرت التحاليل ذلك)، إلا أن صغر حجم المخلفات المتبقى هو الذى يتم عمل طرق التخلص النهائى منه.

انبعاثات الدخان العادم من وحدة الحرق المصممة جيداً والتي تعمل بإتقان لحرق المواد العضوية مثل الهيدروكربونات الكلورة كمثال تشمل H_2O , CO_2 , HCl , N_2 (حامض الهيدروكلوريك). يعتبر حامض الهيدروكلوريك هو فقط الخطير ولكنه يتفاعل بسرعة مع لبن الجير $Ca(OH)_2$ لإنتاج أملاح غير خطرة، والتي يمكن التخلص منها بالردم فى التربة.

ليس كل المخلفات الخطرة يمكن حرقها. فمثلاً المعادن الثقيلة لا يمكن تدميرها ولكنها تدخل إلى الجو فى شكل بخار. ولكن الحرق استخدم بنجاح للتخلص من المخلفات الخطرة مثل المبيدات من الهيدروكربونات الكلورة وكثيراً من المواد العضوية الأخرى.

توجد أنواع خاصة من معدات العمليات الحرارية مثل الفرن الدوار (Rotary - Kirtن)، المحرقة ذات الطبقة السائلة (Fluidized Bed Incinator)، الفرن متعدد المجمرات (Multiple Hearth furnace)، محرقة حقن السائل (Liquid Injection Incinator)، وهذه المحارق تستخدم فى حرق المخلفات الخطرة سواء الصلبة أو فى شكل حمأة (Sludge) أو السائلة. الشكل (٥/١) عبارة عن مخطط لمحرقة حقن السائل. عند الترخيص بأى محرقة للمخلفات الخطرة. يجب أن تختبر لتعيين كفاءة الحريق. حيث يلزم تدمير ما لا يقل عن ٩٩,٩% من المخلفات العضوية أو إزالتها (أو ٩٩,٩% من مخلفات الداكسين Dioxine). انبعاثات الجسيمات، HCl فى الغازات العادمة يمكن كذلك التخلص منها.

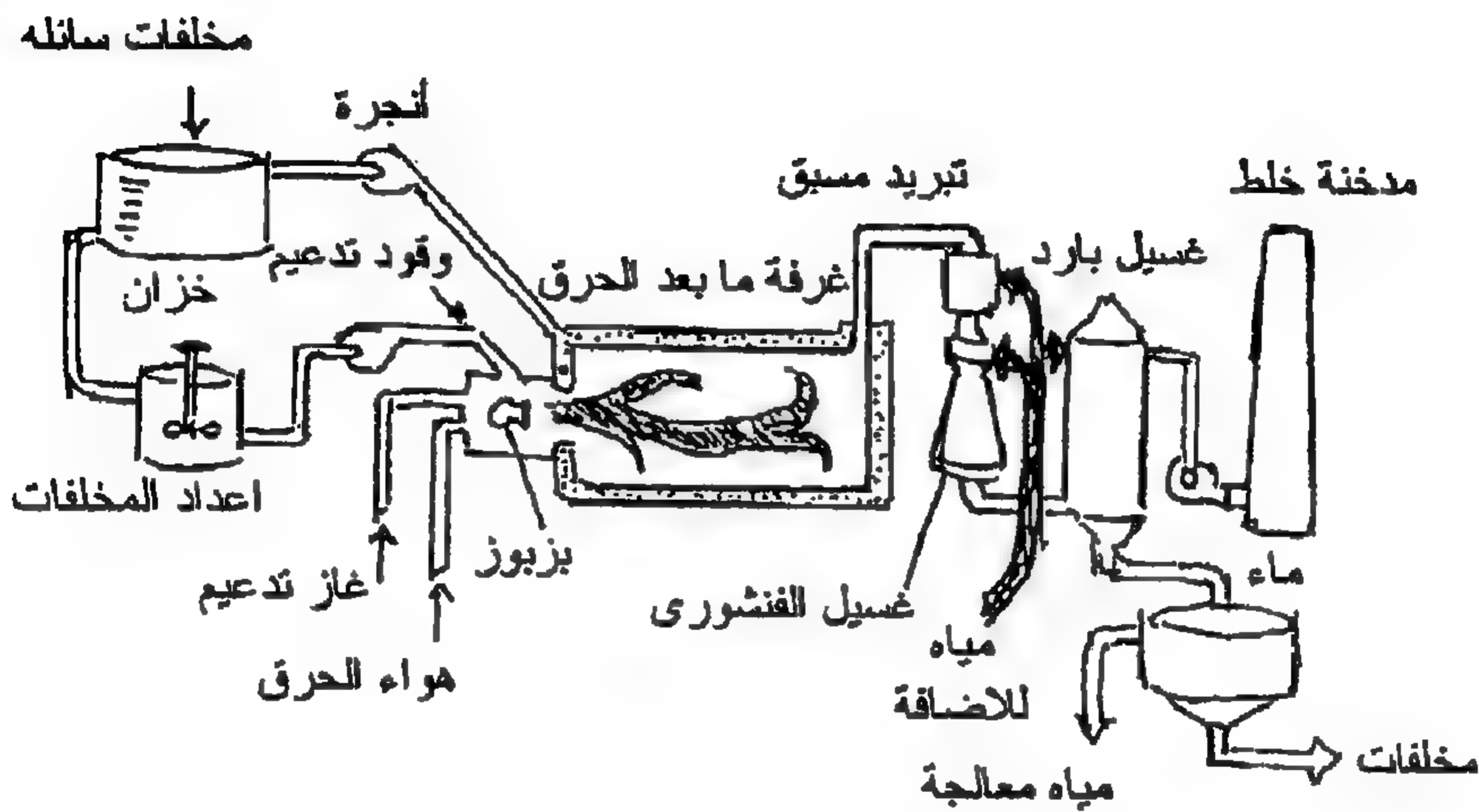
ج - عمليات كيميائية أخرى :

(١) فى عملية التبادل الأيونى فإن مياه الصرف الصناعى يتم تمريرها خلال طبقة من الراتنجات التى تمتص أيونات المعدن ذات الشحنة الكهربائية بطريقة اختيارية (Selectively). مثال لاستخدامها فى عمليات تشطيب المعادن حيث يتم إزالة مخلفات حامض الكروميك من مياه الغسيل.

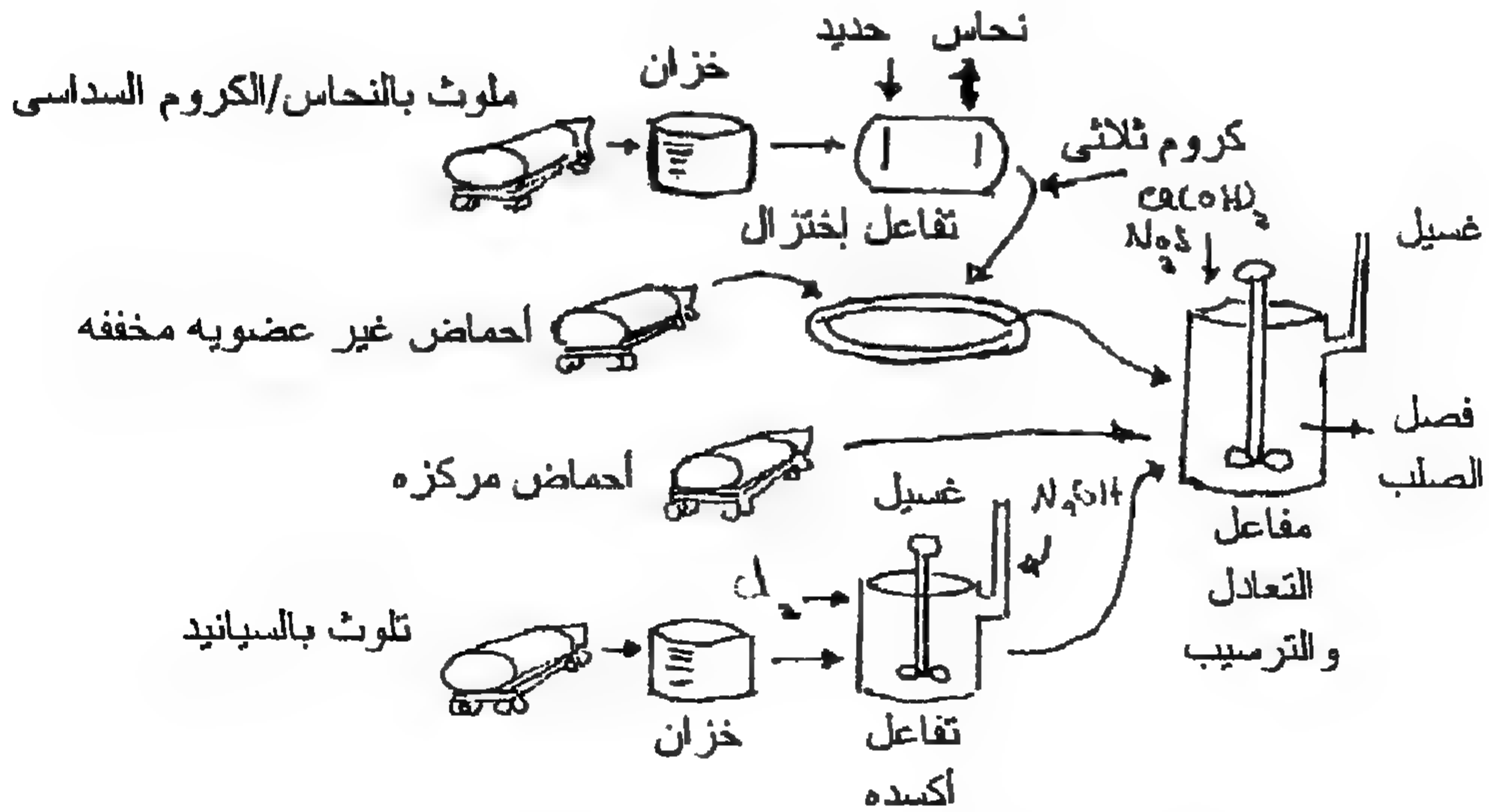
(٢) التعادل : يعنى به ضبط الرقم الهيدروجينى بهدف خفض القدرة التفاعلية للحامض أو للقلوى. فمثلاً يمكن استخدام الحجر الجيرى فى معادلة الأحماض، وثانى أكسيد الكربون المضغوط لمعادلة القلوية القوية.

(٣) الترسيب : يعنى به ترسيب كيماويات معينة من المحلول كمادة صلبة. مثال لتطبيقاتها فى صناعة البطاريات، حيث إضافة لبن الجير وإيدروكسيد الصوديوم إلى مخلفات البطارية الحامضية بسبب ترسيب كلاً من الرصاص والنيكل من المحلول حيث كليهما معادن ثقيلة سامة.

الأكسدة والاختزال هما تفاعلات كيماوية متممة لبعضها تتضمن انتقال الإلكترونات بين الأيونات. أكسدة مخلفات السيانيد بالكلور هو مثال لتحويلها إلى أقل خطورة.



شكل (٥/١) لنظام حقن وحرق السوائل



شكل (٥/٢) مخطط للمعالجة الكيماوية التعادل، الترسيب،

وتفاعل الأكسدة - الاختزال

د- عمليات المعالجة البيولوجية :

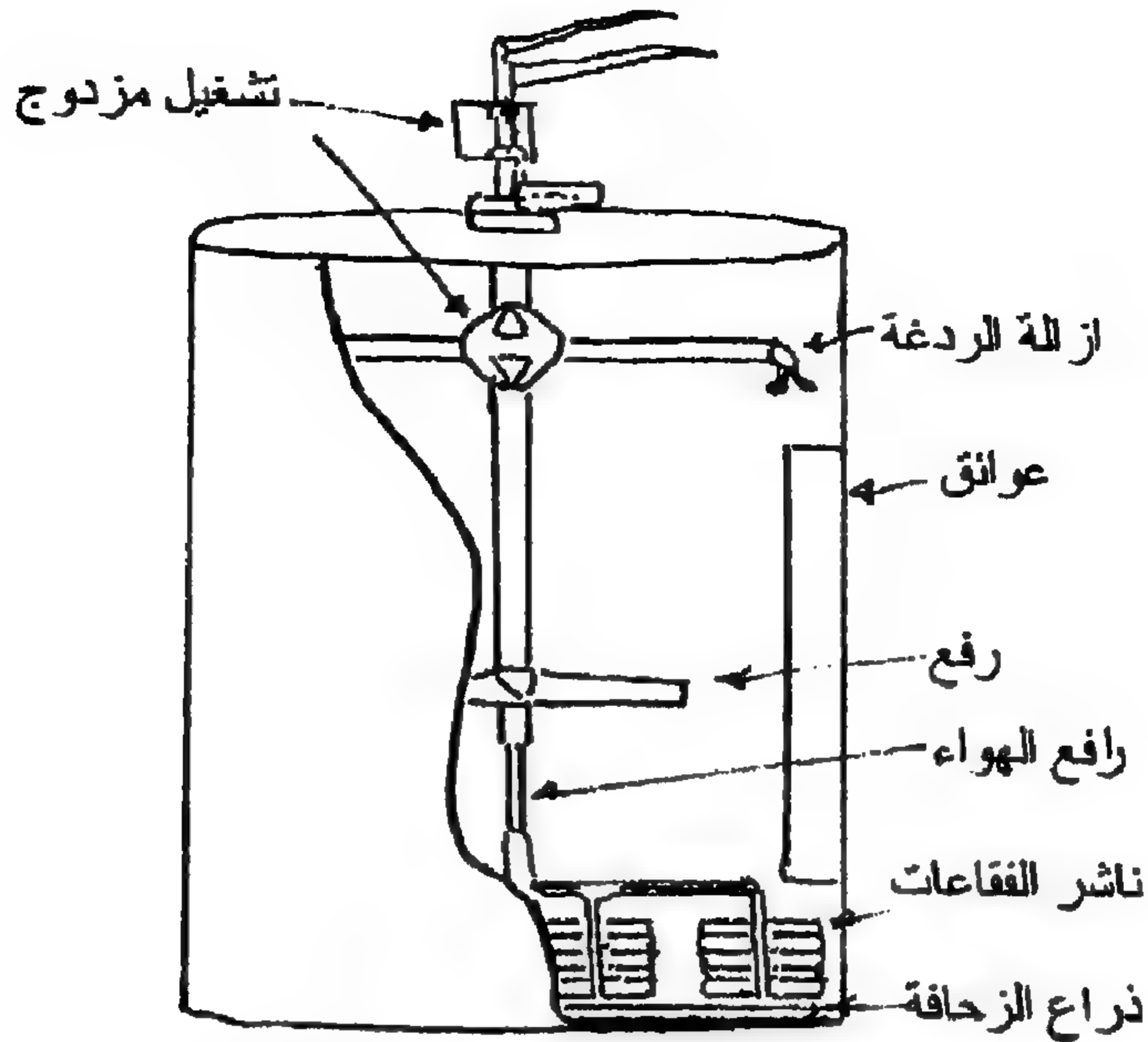
تتضمن المعالجة البيولوجية أداء الكائنات الحية الدقيقة. هذه الكائنات تستخدم مادة المخلفات كغذاء وتحولها بعمليات الأيض الطبيعية (Metabolism) إلى مواد بسيطة جداً. هذه مستخدمة عادة في تثبيت المخلفات العضوية في الصرف الصحي، ولكن أنواع معينة من المخلفات الصناعية الخطرة يمكن كذلك معالجتها بهذه الطريقة. المخلفات العضوية من صناعة البترول كمثال، يمكن معالجتها بيولوجياً. ولكن من الضروري تلقيح المخلفات بالبكتيريا التي تتأقلم معها بسرعة ويمكن أن تستخدمها كغذاء. في بعض الحالات، يمكن استخدام سلاسل بكتيرية مهندسة جينياً (Genetically Engineered Species).

بالإضافة إلى نظم المعالجة البيولوجية التقليدية، بما فيها عمليات الحماة المنشطة والمرشحات الزلطية، فإنه يمكن استخدام طريقة معالجة تسمى التشكيل بالتربة (Land Forming Or land Treatment) والتي ليست مثل الردم في التربة (Land Filling). في هذه الطريقة يتم وضع المخلفات بحرص وخلطها مع التربة السطحية، يمكن كذلك إضافة كائنات حية دقيقة وغذاء (Neutrients) إلى الخليط طبقاً للحاجة. المواد العضوية السامة تتحلل بيولوجياً، بينما المواد الغير عضوية يتم إدمصاصها واحتجازها في التربة.

معالجة التشكيل بالتربة غير مكلفة نسبياً، كما أنها طريقة للتخلص النهائي لأنواع معينة من المخلفات الخطرة. ولكن يجب عدم زراعة المحاصيل الغذائية أو الأعلاف (Forage) في نفس المكان نظراً لأنها يمكن أن تحصل على مواد سامة. في هذا المجال فإن السلبية للمعالجة بالتشكيل بالتربة هي أنه يمكن استقطاع مساحة من الأراضي كبيرة لها استخدامات أخرى كالزراعة مثلاً. طبوغرافية السطح والحالة الجيولوجية أسفل السطح يجب أن تكون مناسبة بحيث لا يحدث تلوثاً للمياه السطحية أو للمياه الجوفية. فمخلفات عضوية خطيرة معينة يمكن أن تعالج في شكل ردة (Slurry) في بحيرة ضحلة أو في وعاء مغلق يسمى المفاعل البيولوجي (Bioreactor). في المفاعل البيولوجي يمكن أن يوجد ناشرات فقاعات صغيرة للإمداد بالأكسجين وتجهيز للخلط للمحافظة على المواد الصلبة في الردة أن تظل عالقة كما هو موضح في الشكل (٥/٣).

هـ - عمليات المعالجة الطبيعية :

يمكن استخدام المعالجة الطبيعية في تركيز، تجميد أو خفض حجم مادة المخلفات الخطرة. يمكن تنفيذ التجميد بتغليف المخلفات في الخرسانة، الإسفلت، أو البلاست.



شكل (٥/٣) مفاعل بيولوجي لمعالجة المخلفات الخطرة

ينتج عن ذلك كتلة صلبة من المادة التي تقاوم الغسيل. يمكن كذلك تحويل المخلفات الخطرة إلى الحالة الصلبة بالخلط مع الجير الحي (Lime)، الرماد، والماء لتكوين منتج صلب مثل الأسمنتى. طريقة أخرى مستخدمة لتجميد وتثبيت التربة الملوثة هي التزجيج. وهذه تتضمن صهر المواد عند درجة حرارة عالية (حوالي ١٦٠٠°م) بما يقلل من إمكانيات غسيل الملوثات. يمكن علاج ردم المخلفات القديمة باستخدام التزجيج في الموقع، حيث يمكن الحصول على درجة الحرارة العالية المطلوبة بإيلاج الأقطاب في الأرض حيث ترتفع درجة الحرارة مع سريان التيار خلال التربة.

أبسط طريقة طبيعية التي يمكن أن تعمل على تركيز وخفض حجم مياه الصرف هي التبخير، والذي يمكن جعله سهلاً باستخدام الرشاشات الميكانيكية. طرق طبيعية أخرى تستخدم لفصل المخلفات الخطرة من السائل تشمل الترسيب، الطفو والترشيح.

مثالين للعمليات الطبيعية المستخدمة لإزالة مكونات خطيرة معينة من المخلفات السائلة تشمل الامصاص على الكربون النشط، أو التجريد (Stripping) بالهواء/الغاز. المواد الخطرة يمكن ادمصاصها على طبقة من الكربون الجيبي أو المسحوق. الكربون المستخدم يمكن تنشيطه لإعادة الاستخدام. استخدام التجريد بالهواء/الغاز في أبراج ذات التدفق

المعكس أو فى شكل شلال (Cascade) لإزالة المواد العضوية المتطايرة من مياه الصرف ومن المياه الجوفية الملوثة.

خزانات الحفظ والتجميع : (Storage Tanks and Impoundments)

الحفظ السليم للمخلفات الخطرة يعتبر ضرورياً نظراً لما تسببه من أضرار كبيرة للصحة العامة وللبيئة فى حالة الصرف الغير متعمد.

كثير من منتجى المخلفات الخطرة يقومون بحفظها فى الموقع لمدد زمنية مختلفة. الكميات الكبيرة نسبياً قد يتم حفظها فى أحواض أو برك فوق سطح الأرض. أحواض الحفظ فوق سطح الأرض يمكن أن تتشأ من الصلب أو الخرسانة ولكنها تكون معرضة للتآكل والتشقق وليست مناسبة لحفظ المخلفات المتفاعلة أو القابلة للاشتعال.

الكميات الصغيرة نسبياً من المخلفات الخطرة التى تنتج بشكل متقطع يمكن أن توضع فى براميل سعت ٢٠٠ لتر من الصوف الزجاجي (Fiber Glass) أو من البلاستيك أو من الصلب لسهولة التداول، وللتخزين المؤقت والنقل. يتم حفظ المادة العدوانية فى أوعية مبطنة بالصوف الزجاجي أو بالزجاج لتجنب التلف والتسرب. السوائل الكيماوية السامة يمكن حفظها فى براميل معدنية.

الأوعية أو البراميل للمخلفات الخطرة يجب وضع الملصقات التحذيرية عليها قبل النقل إلى المعالجة أو التخلص. الملصقات يجب أن تظهر المحتوى عما إذا كانت المادة متفجرة، قابلة للاشتعال، عدوانية، أو سامة. يجب وضع العلامات أو الملصقات التحذيرية على سيارة النقل للتحذير نحو مدى الخطورة ولمساعدة العمالة المسؤولة عن المساعدة فى الطوارئ فى حالة الانسكاب الغير متعمد الذى يمكن أن يحدث أثناء النقل.

خزانات الحفظ تحت الأرض :

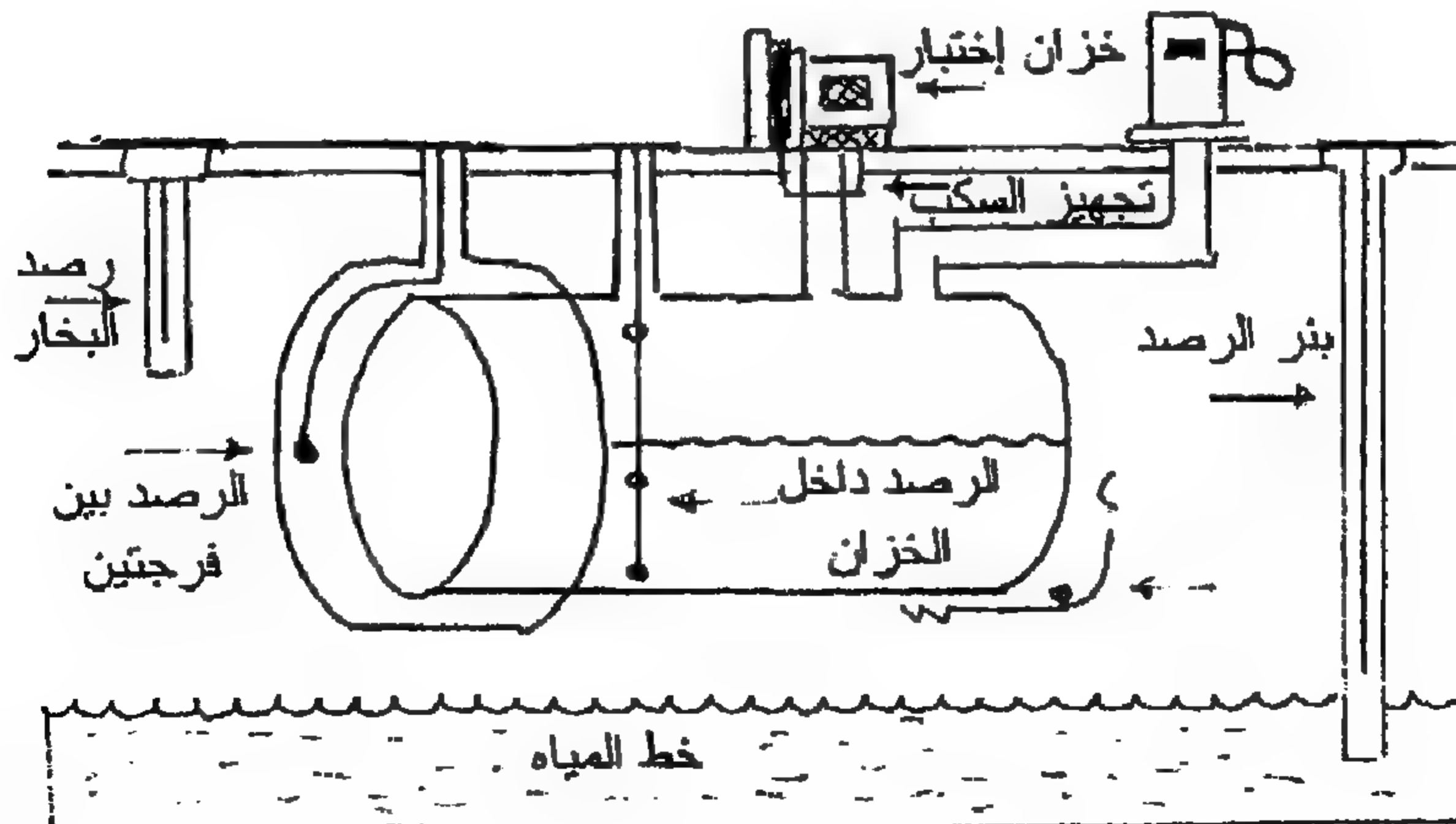
تصميم وإنشاء الخزانات المستخدمة لحفظ المواد الخطرة وكذلك المخلفات الخطرة يعتبر عملاً بيئياً هاماً. آلاف من حالات الإضرار بالبيئة (خاصة تلوث المياه الجوفية) كانت بسبب التسرب من الخزانات. معظم هذه الحالات كانت بسبب التسرب من خزانات الجازولين أو الزيت القديمة تحت الأرض، ولكن كثيراً من الخزانات تحت الأرض المحتوية على المخلفات الخطرة حدث بها تآكل وتسرب. نظراً لأن هذا التسرب يسبب تلوث للمياه الجوفية فإنه يهدد الصحة العامة والبيئة. لذلك فإن خزانات الحفظ تحت سطح الأرض تسبب تهديداً أكثر من تلك التى فوق سطح الأرض. خزانات الحفظ تحت سطح

الأرض تكون غير مرئية وكذلك فإن مكانها يكون غير معلوم للسكان القريبين منها حتى حدوث مشكلة، وحدث تلف حيث يلزم للنظافة والعلاج الذي يكون مكلفاً.

لقد قامت وكالة حماية البيئة (EPA) بوضع المواصفات نحو استخدام خزانات الحفظ تحت سطح الأرض. هذه المواصفات تنطبق على الخزانات حيث أكثر من ١٠% من حجمها يكون تحت سطح الأرض، محتويًا مخلفات خطرة أو منتجات بترولية أو أي مواد خطرة أخرى، وكذلك خطوط المواسير ونظم الضخ تحت سطح الأرض المرتبطة بالخزانات تلك كذلك تم تنظيمها. هذه القوانين هي لمنع التسرب والانسكاب وكذلك للكشف عن حدوث هذه الحالات في حالة وقوعها.

القواعد المنظمة للتصميم والإنشاء والتشغيل لخزانات الحفظ فوق سطح الأرض أو تحت سطح الأرض كثيرة ومعقدة. الخزانات الجديدة تحت سطح الأرض يجب أن تصنع من الصوف الزجاجي أو من الصلب المحمي كاثودياً للحماية من التآكل. كذلك يمكن استخدام نظام حفظ إضافي مثل تلك الخزانات ذات الجدار المزدوج أو حوائط العزل مع طبقة حاملة غير منفذة أو صماء.

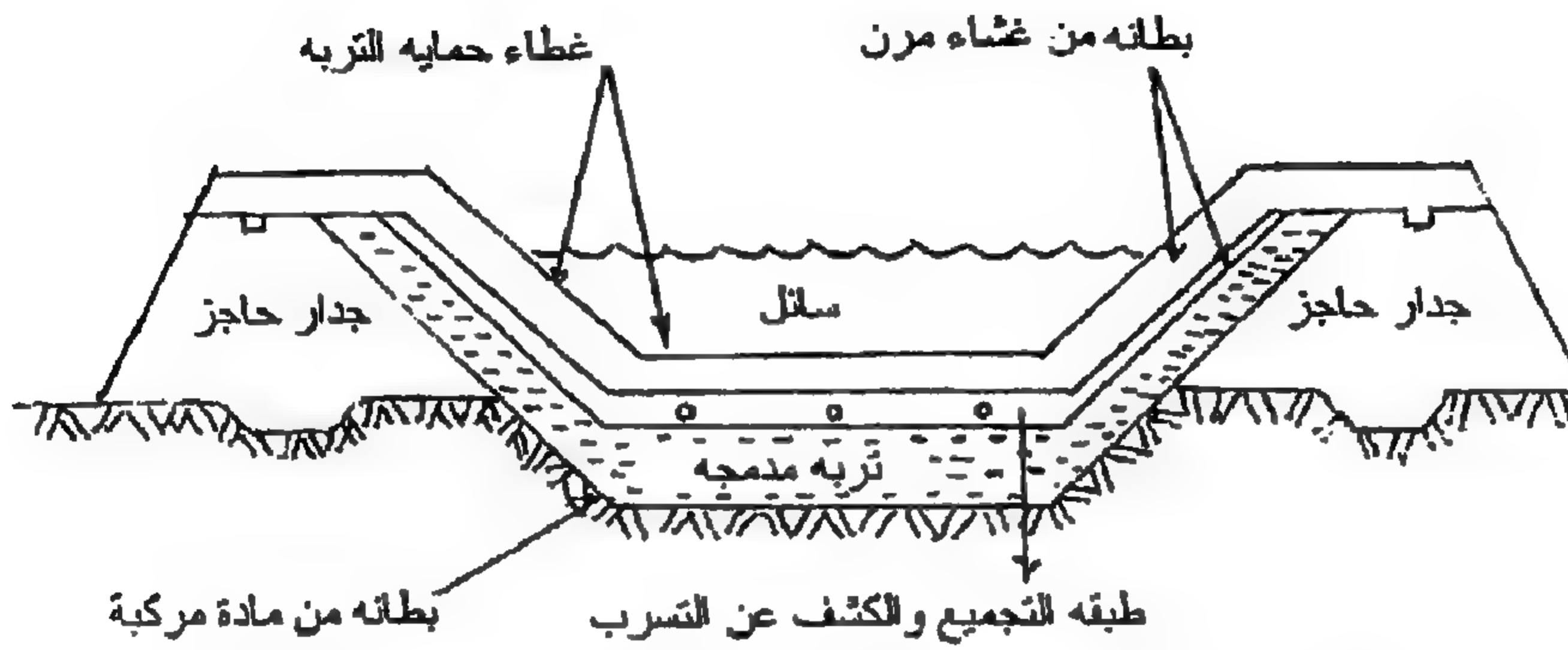
يجب توفير نظام ألي للكشف عن التسرب ونظام للتحذير وكذلك التجهيزات لمنع الملء الزائد وحدث فائض شكل (٥/٤). كذلك يجب التفطيش الشهري وإزالة الحماة من الخزانات. الخزانات الحالية الغير متوفر لها حماية من التآكل أو التسرب يجب خروجها من الخدمة، وتفرغ محتوياتها من السوائل والحماة والأبخرة ثم إما إزالتها أو ملئها بالرمل والزلط أو الخرسانة.



شكل (٥/٤) بدائل الكشف عن التسرب تشمل الرصد الألي لكشف الفقد في الحجم، الأبخرة من تسرب المنتجات البترولية. والسوائل المتسربة. التربة المحيطة، الفراغ بين الخزان.

أ- التجميع السطحي : (Surface Impoundments)

يسمح بالتجميع السطحي للمخلفات السائلة الخطرة في حالة تطبيقها للقواعد التصميمية الصحيحة، حيث يجب توفير بطانتين (2 Liners) لمنطقة التجميع على الأقل ونظام لتجميع الرشح، بالإضافة إلى رصد المياه الجوفية لكل نظم التجميع السطحية. الشكل (٥/٥) يوضح منطقة تجميع سطحية للمخلفات السائلة الخطرة. الحماية المتراكمة يجب إزالتها من أن إلى آخر مع توفير التداول لها كمخلفات خطرة.



شكل (٥/٥) لمقطع نظام حجز مياه الصرف بالطبقة المزدوجة

ب- أكوام المخلفات : (Waste Piles)

مع الحرص اللازم فإنه يسمح لمنتجات مخلفات خطرة معينة باستخدام أكوام تكوين المخلفات للتجميع المؤقت للمخلفات الخطرة، يتم ردم المادة في التربة (Land Filled) عندما يصبح حجم الكومة خارج السيطرة والتحكم. المسموح به في أكوام المخلفات هو فقط المواد الصلبة الغير مسببة للتلوث والتي لا تتدفق مثل هذه المواد تشمل المواد الغير مغناطيسية من عمليات (تقطيع السيارات) والتي تحتوي على منسوجات، مطاط، بلاستيك، عوازل، رصاص وكاديوم. المخلفات من عمليات استخلاص الألومنيوم يمكن كذلك تجميعها بصفة مؤقتة في أكوام المخلفات. يجب إنشاء أكوام المخلفات بحرص فوق قاعدة غير مسامية ويجب أن تتطابق مع متطلبات الردم في التربة. يجب حماية الأكوام من عمليات التشتت بفعل الرياح والاحتكاك، في حالة إنتاج مواد تسرب خطرة أو تدفقات فإنه يجب توفير نظام رصد وتحكم.

ج - التخلص من المخلفات الخطرة في التربة : (Land Disposal).

مخلفات خطرة معينة يمكن التخلص منها في التربة. المخلفات الخطرة الغير سائلة أو المعبأة يمكن دفنها في منطقة ردم مؤمنة، المخلفات السائلة يمكن التخلص منها باستخدام

نظام الحقن للبئر العميق. التخلص في المناجم تحت الأرض، الكهوف أو المقابر الخرسانية ولكن فقط بعد المعالجة المناسبة ومنع الانتشار.

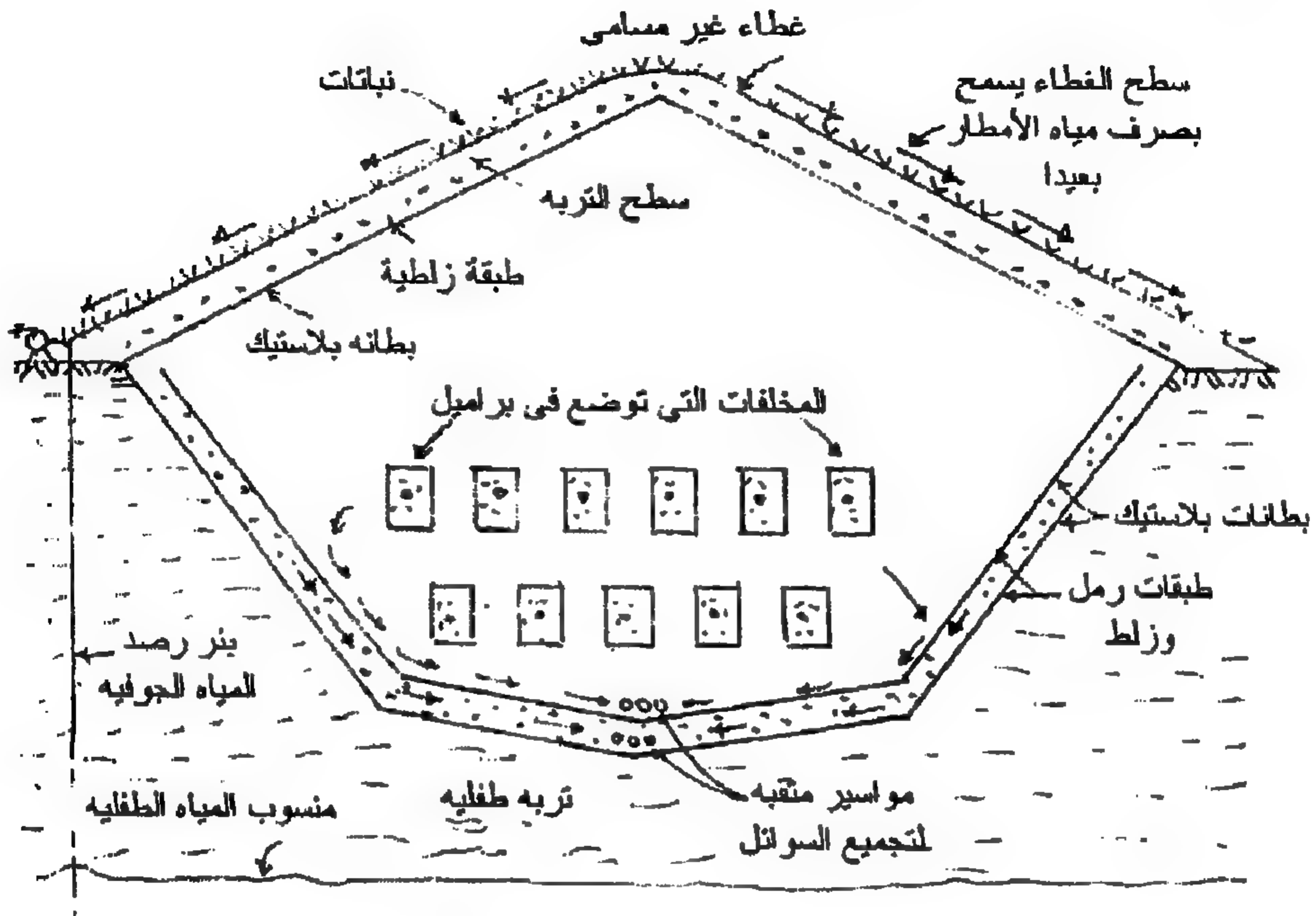
التخلص من المخلفات الخطرة في التربة ليس هو البديل المفضل بسبب المخاطر على البيئة التي يمكن أن يسببها. في الماضي حيث لم يتم توفير الأمان البيئي الفاعل بما يتطلب إعادة نظافة هذه المواقع. ولكن مع الاختيار المناسب للموقع والتصميم الهندسي الجيد واحتياطات الأمان، فإن التخلص في التربة هو الأقل تكلفة كبديل لأنواع كثيرة من المخلفات الخطرة. وسوف يظل ضروريا في المستقبل. حتى مع خفض المخلفات والحرق، فإنه لا يمكن الإبعاد التام للمخلفات الخطرة. لعدم التشجيع على نشاطات التخلص في التربة وخاصة في حالة توفر طرق معالجة أو إتلاف أخرى، فإن وكالة حماية البيئة (EPA) وضعت حدوداً حاسمة نحو استخدامها. مخلفات خطرة معينة مثل الداايوكسنز (Dioxins)، السيانيدات، المركبات العضوية المهلجنة، المبيدات الكلورية والأحماض ذات الرقم الهيدروجيني أقل من ٢، ثم حذفهم من التخلص في التربة. هذه المخلفات يجب معالجتها أو تثبيتها قبل التخلص في التربة أو أن تكون ذات حدود معينة لتركيز المكونات الخطرة.

د - التخلص الآمن بالردم في التربة : (Secure Land Fills)

التخلص الآمن بالردم في التربة يجب ألا يقل ارتفاعه عن ٣ متر (١٠ قدم) من قاعدة الردم من الطبقة الصخرية السفلية أو خزان جوفى المياه الجوفية، وهذا يعتبر أدنى عزل مطلوب لردم المخلفات الصلبة المنزلية. كل الردم الآمن يجب أن يكون له بطانة من طبقتين ونظام جمع المياه المتسربة لزيادة الأمان، وشبكة لرصد الآبار لأخذ عينات المياه الجوفية، مع غطاء غير منفذ وغير مسامي. مقطع في التربة موضح في الشكل (٥/٦). البطانة الغير مسامية على القاع والاجناب لردم المخلفات الخطرة الآمن تعمل كعازل لمنع دخول المياه الجوفية أو أى سوائل من مواد الملء. ولكن لا توجد بطانة مؤثرة بنسبة كفاءة ١٠٠%، حيث يتوقع دائماً بعض التسرب من السوائل، البطانة المزدوجة ونظام جمع المياه المتسربة في الملء في التربة المؤمن يوفر التأكيد التام لحماية نوعية البيئة والصحة العامة.

يمكن استخدام مرشح مرن يسمى (Geotextile) لفصل التربة ومادة المخلفات من نظام مواسير الصرف (سوائل التسرب Leachate). تحت هذه تكون البطانة الأولية والذي يجب أن تكون من مادة مخلقة (Synthetic) ذات معامل نفاذية مكافئ لـ 10^{-6} ملليمتر في

الثانية أو أقل. وهذا يسمى غشاء جيولوجي أو بطانة من الغشاء المرن المصنوعة من بلمرات البلاستيك المرنة. الطبقة السفلية أو البطانة الثانية عبارة عن طبقة مركبة (Composite) من الطفل المدمك والبطانة من الغشاء المرن كما هو موضح في الشكل (٥/٧). سوائل التسرب التي يتم تجميعها يمكن ضخها لوحدة المعالجة لمعالجتها.



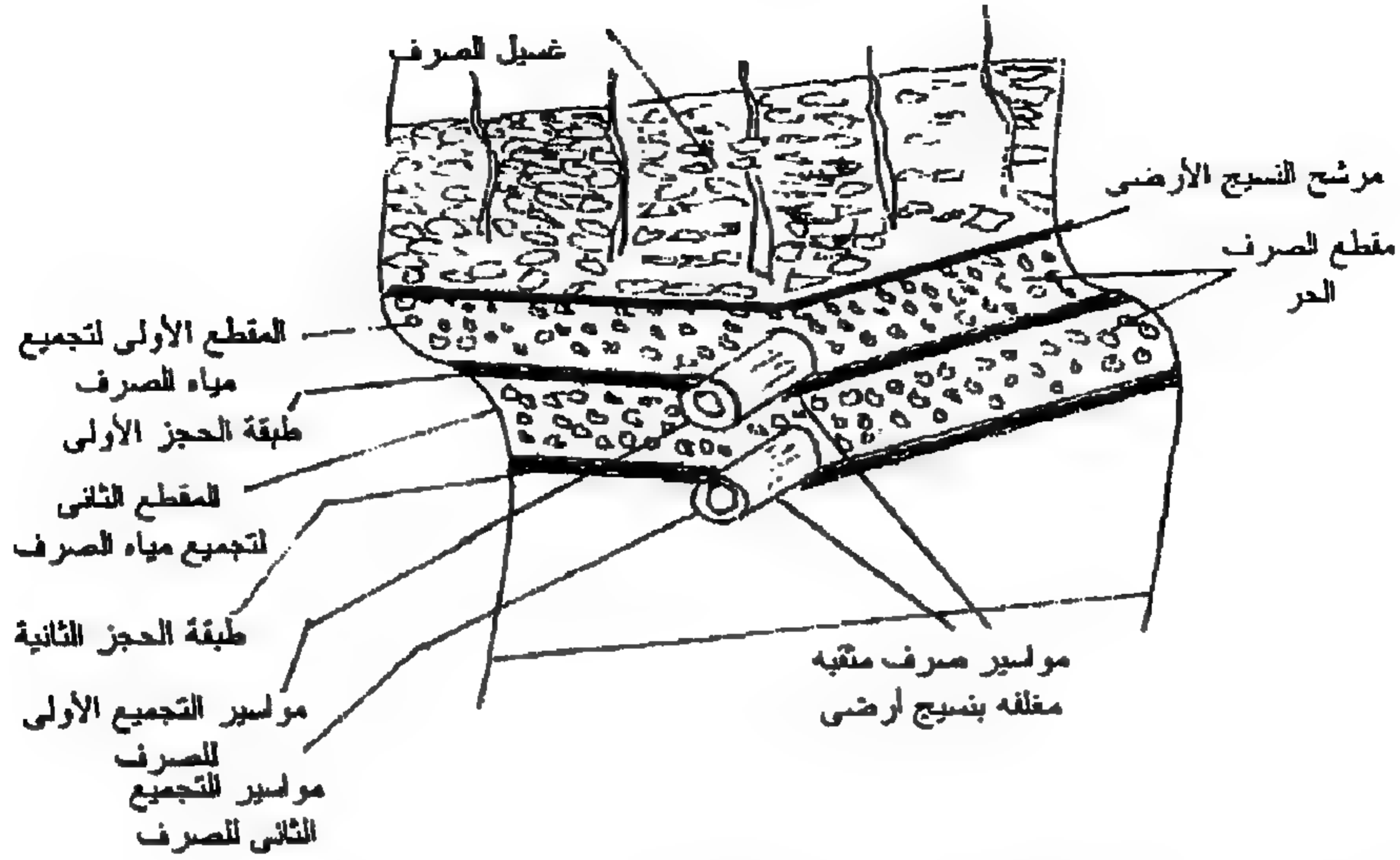
شكل (٥/٦) مقطع في منطقة ردم مؤمنة

الملء في التربة المؤمن يعتبر أن له أربع مجالات في كل عملية. أثناء المجال الأول أو النشاط يتم وضع المخلفات الخطرة في منطقة الملء التي يتم إعدادها. المخلفات الكيماوية الغير متوافقة يتم وضعها في أماكن منفصلة في الملء لتجنب الانفجارات أو أي تفاعلات خطيرة أخرى. يتم أولا تجميد مادة المخلفات أو احتوائها في براميل، مع الحرص نحو إتلاف الأوعية عند وضعها في فراغ التربة المعدة.

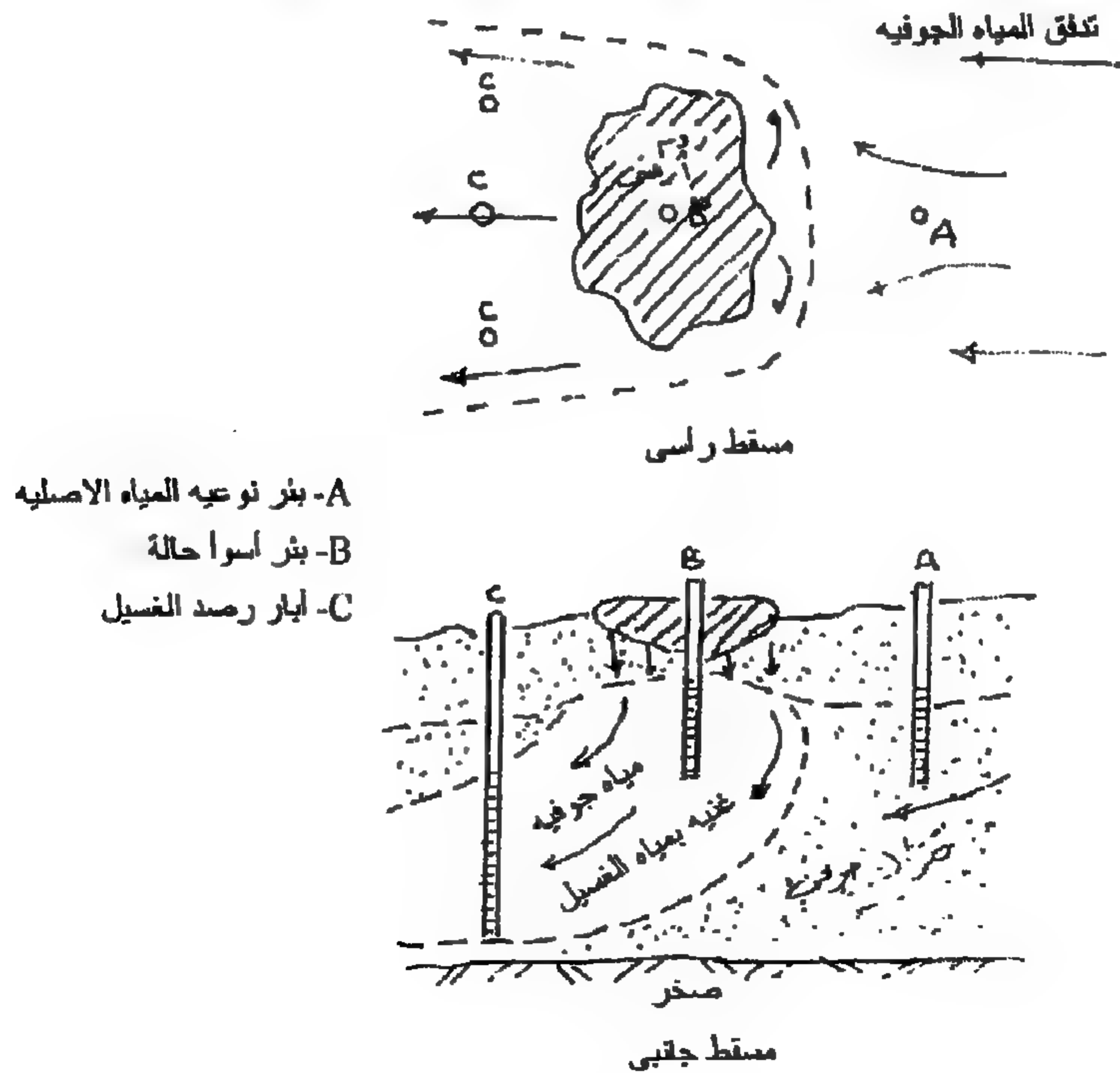
أثناء المرحلة الثانية أو النهائية فإن الغطاء الغير مسامي يتم إنشاؤه على موقع الملء. طبقة البطانة المركبة عند القاع، الغطاء الغير مسامي، ونظام جمع سوائل التصريف المزدوج كخط الدفاع الأول ضد التسرب أثناء كلاً من المرحلة النشطة والمرحلة النهائية في عملية الدفن في التربة. المجال أو المرحلة ما بعد النهائية، والتي تعرف بفترة ٣٠ سنة بعد غلق الموقع، تتضمن العمل المستمر لرصد نظام البئر شكل (٥/٨). وهذا هو

الفصل الخامس

خط الدفاع الثاني. يجب عمل برنامج روتيني لأخذ العينات والاختبار لكشف أى علامات لتسرب الكيماويات أو لتلوث المياه الجوفية.



شكل (٥/٧) مقطع للبطانة المزدوجة ونظام جمع مياه الغسيل للردم الأرضي المؤمن



شكل (٥/٨) نظام رصد المياه الجوفية يتكون من عدد من الآبار موضوعة حول موقع صرف المخلفات

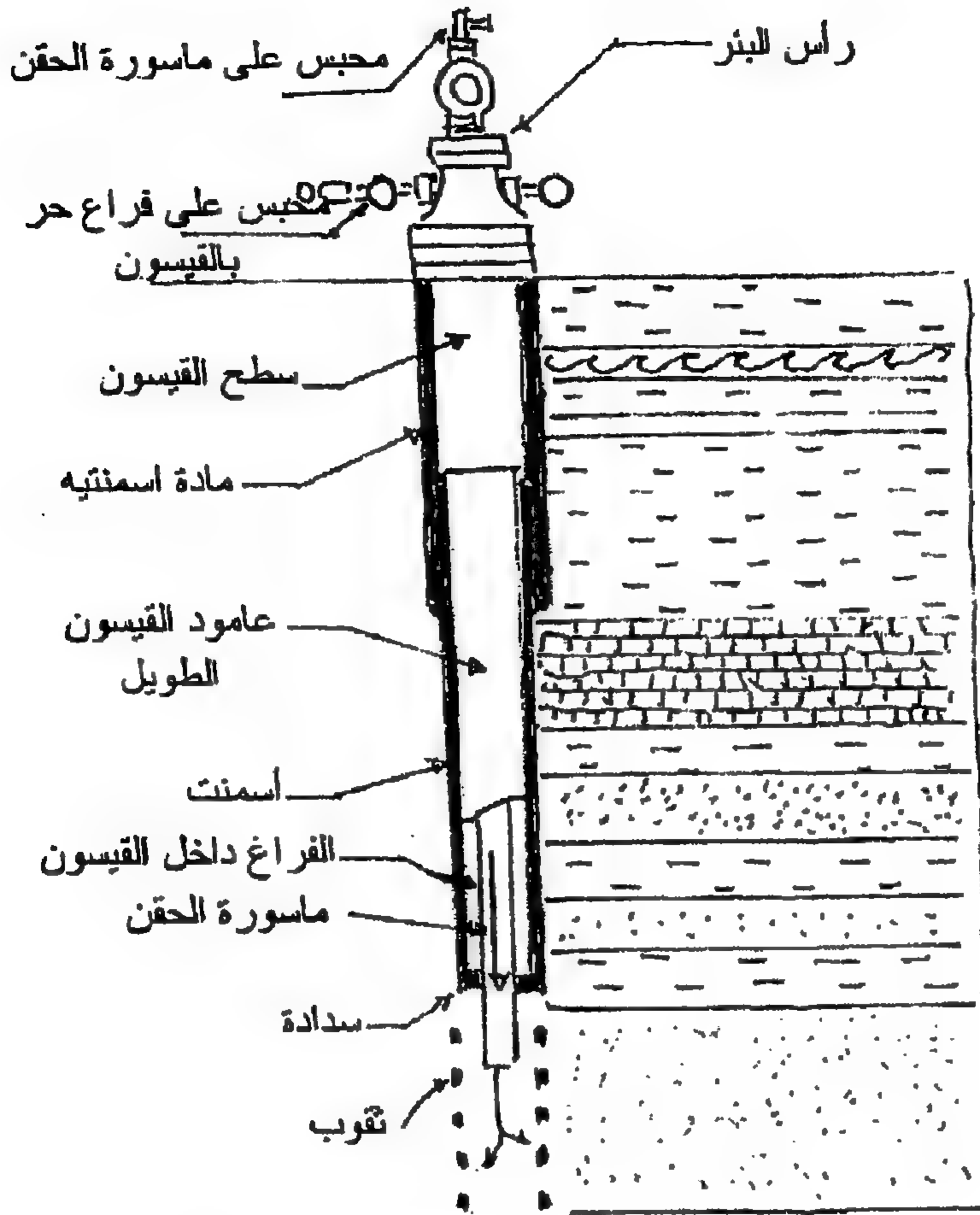
يعتقد أنه لا يوجد ملء في التربة يمكن أن يكون آمناً للأبد، حيث التحلل الطبيعي لطبقة البطانة للحماية أو القوى الجيولوجية الطبيعية، بما فيها احتمالات الزلازل، سوف تدمر تلك الإنشاءات لأعمال الملء في التربة. المجال أو المرحلة الرابعة والأخيرة والذي تسمى (Enternity phase)، يتوقع أن تتضمن بعض التسرب لمادة المخلفات في البيئة. عند اكتشاف هذا التسرب يتم وضع المضخات في آبار الرصد لتعترض المياه الملوثة وضخها إلى السطح لمعالجتها. خط الدفاع الأخير هذا هو للمحافظة على الخزان الجوفي السفلي نتيجة أي أعمال من هذا الملء في التربة.

هـ - الحقن تحت الأرض (الحقن الجوفي) : (Underground Injection)

البديل للتخلص في التربة للمخلفات الخطرة السائلة هو الحقن الجوفي. وهذا يتضمن ضخ السائل خلال بئر محفور إلى طبقة صخرية مسامية. يتم ضخ السائل عندئذ تحت ضغط مرتفع في المسام والشقوق الصخرية. الطبقة الصخرية التي يتم فيها تخزين السائل عادة من الحجر الجيري أو الحجر الرملي يجب أن تكون بين طبقات غير مسامية من الطفل أو الصخر، منطقة الحقن هذه يجب أن تكون ما بين عدة مئات من الأمتار إلى قليل من الكيلو مترات أسفل الأرض. طاقة الطبقة الجيولوجية لتقبل حقن المخلفات تتوقف على المسامية (مساحة الفراغات)، النفاذية (القدرة على نقل السائل) وعوامل أخرى.

بئر الحقن يجب أن يكون ما لا يقل عن ٤٠٠ متر بعيداً عن المصدر الجوفي لمياه الشرب، وأن يتم حقن المخلفات في طبقة جيولوجية منفصلة خالية من التصدعات والشقوق. يجب أن يجهز البئر بالقيسون والتحشيه الأسمنتية لزيادة الحماية ضد أي تلوث لأي إمدادات لمياه الشرب. القيسون عادة يحتوى على ثلاث مواسير متحدة المركز (Concentric). القيسون الخارجى أو السطحى يجب أن يمتد إلى أسفل أعماق خزان جوفي مستخدم كما هو موضح في الشكل (٥/٩). ماسورة القيسون الطويلة المستقيمة ومواسير الحقن الداخلية تمتد إلى طبقة الحقن. ضغط حقن البئر ومعدل التدفق يجب رصده بحرص، يجب ألا يكون ضغط الحقن كبيراً جداً لتجنب تشقق المكونات الجيولوجية المستقبلية للمخلفات. الصناعات الكيماوية والبتروولية هي أكبر مستخدمى آبار الحقن، هذا إلى جانب أن حوالي ٩٠% من استخدامها كبديل للتخلص. معظم آبار الحقن النشطة كانت في مواقع الصناعات الثقيلة أو في مواقع إنتاج الزيت والغاز. متطلبات اختيار الموقع لآبار جديدة تركز على المتطلبات الجيولوجية. يجب أن تكون هناك تربة حاملة للمياه لا يستفاد بها وذات حجم كافى، ومسامية، ونفاذية لتقبل المخلفات التى يتم حقنها. التربة

المحصورة فوق وأسفل منطقة الحقن يجب أن تكون سميكة وغير مسامية وذلك لحجز المخلفات.



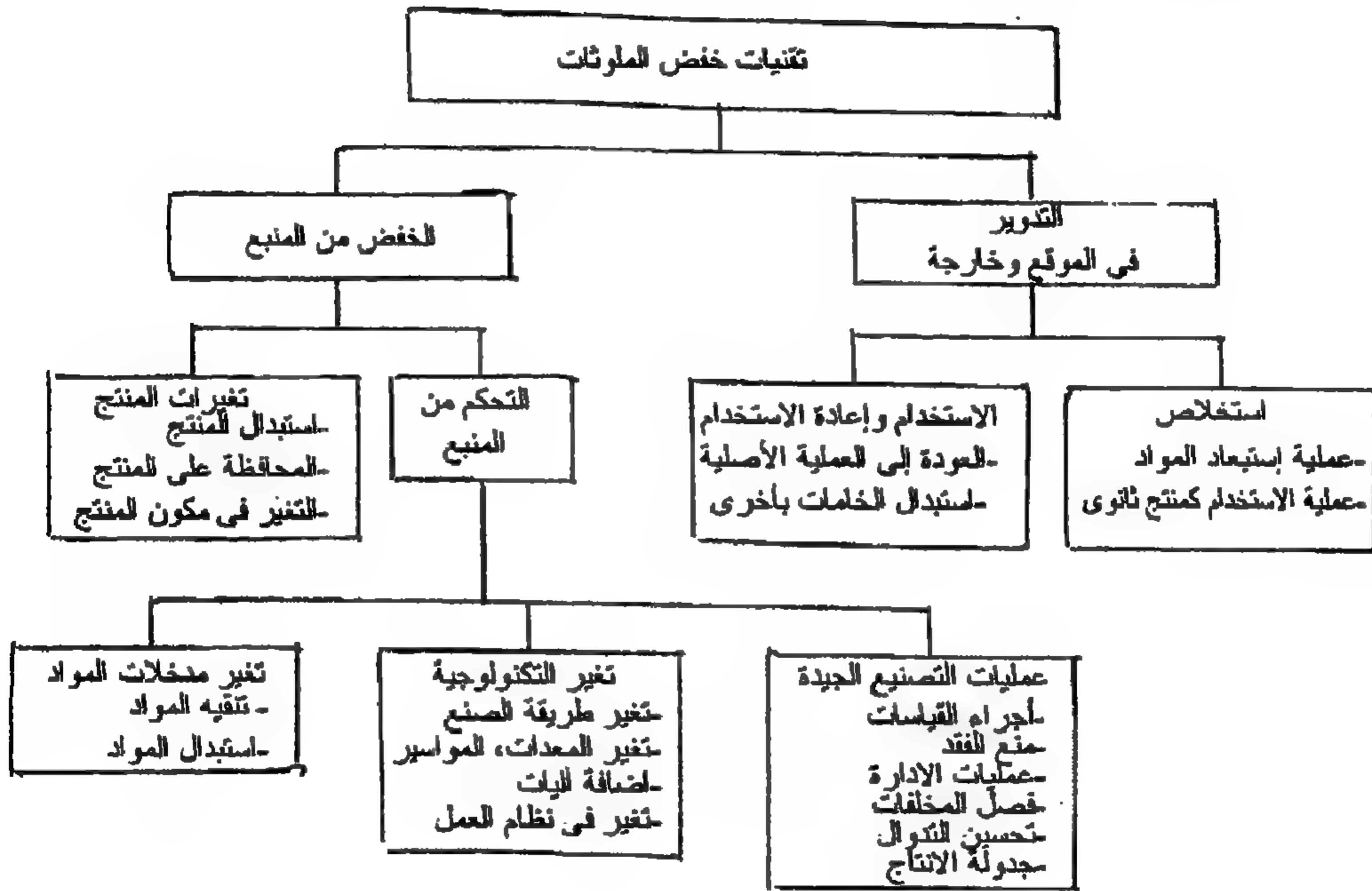
شكل (٥/٩) نموذج لبئر حقن المخلفات الخطرة

يجب عمل دراسات جيولوجية وهندسية مكثفة لتأكيد أن إمدادات المياه الجوفية سوف لا تتأثر بتشغيل بئر الحقن. بالإضافة إلى متطلبات برنامج التحكم في الحقن الجوفى، فإن كل من الجهات المسؤولة عن بيئة الخزانات الجوفية قد يكون لهم متطلبات تنظيمية أخرى لأبار الحقن.

الحقن الجوفى يحتاج إلى مساحة صغيرة من الأرض ولا يتطلب سوى معالجة صغيرة أو بدون معالجة مسبقة للمخلفات، ولكن لا يفضل أن تكون هي الوسيلة الشائعة للتخلص من المخلفات الخطرة بسبب المخاطر المحتملة للتسرب نحو خزانات المياه الجوفية المستخدمة للشرب، وذلك رغم الأبحاث الجيولوجية المكثفة والدراسات الهندسية.

٩- خفض الملوثات الخطرة : (Hazardous Waste Minimization)

تقنيات خفض الملوثات تؤكد على خفض إنتاجها من المنبع وكذلك على إعادة الاستخدام (Recycling) بما يقلل إما حجم المخلفات أو الخطورة. التدوير وإعادة الاستخدام هو البديل المناسب، وخاصة بالنسبة للملوثات التي تحتوى على نسبة عالية من المعادن، الزيوت، الأحماض والمواد الأخرى ذات القيمة الاقتصادية. مخطط توضيح تقنيات خفض الملوثات كما فى الشكل (٥/١٠) خفض الملوثات يتطلب مساعدة الحكومة نحو توفير المعلومات التقنية والمساعدات الأخرى إلى منتجي هذه الملوثات.



شكل (٥/١٠) طرق خفض الملوثات

أ- تدقيق ومراجعة خفض الملوثات : (Waste Minimization Audits)

الخطوة الأولى فى وضع برنامج خفض الملوثات هو بعمل تقييم لهذا لخفض أو تقديره. وهذا يعتبر استعراض ومراجعة حريصة نحو فرص الصناعة فى خفض أو تدوير الملوثات، يمكن عمل ذلك بواسطة طاقم التصنيع نفسه أو بواسطة استشارى. الطريقة المؤثر لبدء مثل هذا التدقيق هو باختيار قليل من تدفقات صرف المخلفات أو العمليات للمراجعة المكثفة، وليس بمحاولة تغطية كل تدفقات الصرف مرة واحدة. تقديرات خفض

الملوثات هي بالتعرف على تدفقات الملوثات وخواصها، وعمليات الإنتاج المنتجة للملوثات، وكمية الملوثات المنتجة.

لقد اقترحت وكالة حماية البيئة (EPA) الخطوات الآتية للتقدير :

- * تحضير خلفية مادة التقييم.
- * عمل زيارة قبل التقييم للتعرف على مياه الصرف المستهدفة.
- * يتم اختيار أحد تدفقات الصرف لعمل التحاليل التفصيلية.
- * عمل زيارة تفصيلية للموقع لجمع البيانات عن تدفقات مختارة للمخلفات ونظم التحكم والبيانات المتعلقة بالعملية.
- * يتم إعداد عدد من البدائل لخفض الملوثات.
- * عمل تقديرات أولية لأحد البدائل (شاملا التكلفة الأولية).
- * اختيارات طبقا لآثار خفض الملوثات، مدى الاستخدام العادي في الصناعة، ومستقبل الاستخدام في المصنع.
- * إعداد النتائج الأولية لعناصر التخطيط مع الاختبارات الأساسية.
- * إعداد التقدير النهائي، متضمنا التوصيات نحو إدارة المصنع.
- * إعداد خطة التنفيذ وجدول التنفيذ.
- * عمل مراجعات من آن إلى آخر لتحديث التقديرات.

د- دراسة حالة : (Case study)

تقييم خفض المخلفات :

في عام ١٩٨٦ أعدت وكالة حماية البيئة (EPA) تقدير لخفض الملوثات في فرن القوس الكهربى لصناعة الصلب. قام طاقم التقييم باختبار بدائل الخفض للملوثات، متضمنة خفض المصدر واستعادة المخلفات العدوانية ومن المعادن الثقيلة. لقد كشف التقييم أن فلوريد الكالسيوم (الفلورسبار Flourspar) في الحماة المنتجة أثناء عملية التعادل لمياه الصرف من خط المعالجة الحامض (Pickling) يمكن استعادتها اقتصادياً.

كانت الشركة تتخلص من الحمأة وتشتري سنوياً ١٠٠٠ طن من الفلورسبار كمادة خفض درجة حرارة الانصهار (FLUX) لعملية صناعة الصلب. طريقة خفض الملوثات التي أعدت بواسطة طاقم التقييم وفرت على الشركة ١٠٠٠٠٠ دولار في العام التي كانت تستخدم لشراء الفلورسبار وكذلك ٧٠٠٠٠ دولار إضافية في العام بسبب خفض ٣٠% في حجم الحمأة المقرر التخلص منها.

د - طرق خفض المخلفات :

يمكن تصنيف طرق خفض كميات الملوثات إلى عدة أنواع، منها تغيرات في المنتج وفي الخامات، تغير في تكنولوجيا التصنيع، تطوير عمليات التشغيل، والتدوير (الشكل ١٠/٥). هذه الطرق يمكن استخدامها في كثير من الصناعات. معظمها يشمل خفض من المنبع، والبعض الآخر إعادة الاستخدام. الطريقة المناسبة لأي صناعة يمكن تحديدها بالدراسة الأولية لتقدير خفض الملوثات.

من بين العمليات المتطورة هو شراء مواد إنتاج أقل سمية، تحسين عمليات تخزين وتداول المواد، تدريب العمالة، التنظيم الداخلي الجيد للأداء داخل الوحدة الإنتاجية. يمكن فصل المخلفات الخطرة عن المخلفات الغير خطرة لتوفير تكاليف التخلص وتوفير فرص جيدة لإعادة الاستخدام. يمكن تطوير معدات الإنتاج لخفض إنتاج المخلفات وللمساعدة في استعادة المادة، كما أن برنامج الصيانة المتطورة يمكن أن يكون معيلاً. المنتجات النهائية يمكن إعادة صياغتها لتكون أقل خطورة، ومعالجة مصادر التسرب وعدم حدوث انسكاب غير متعمد. نظام الدائرة المغلقة للإنتاج (Closed loop production) يمكن تصميمه وتنفيذه لزيادة التدوير وإعادة الاستخدام في الموقع. نظافة الأجزاء المعدنية وعمليات الطلاء تكون أساسية في كثير من الصناعات. المواد الخطرة من نظافة الأجزاء المعدنية يمكن خفضها بخفض سمية أو حجم مادة التنظيف المستخدمة. الطلاءات ذات السمية المنخفضة (مثل تلك ذات الأساس المائي) والتي تحتوي على المعادن الثقيلة يمكن استخدامها لخفض الملوثات الخطرة المتعلقة بمادة البويات.

أحياناً يمكن استخدام مخلفات أحد الشركات كخامات لشركة أخرى. المنظمات التي تعمل كبيوت للتصفية للمخلفات الخطرة أو تبادل المادة (Hazardous waste clearing Houses or Material Exchanges) يمكنها تسهيل جهود التبادل والتدوير. بيت التصفية والنقاء يمكن أن يساعد لعمل الترتيبات بين منتجي المخلفات والمستخدمين لها. كما يمكن أن تعمل كوسيط أو كعامل انتقال مباشر بشراء المخلفات من المنتج وإعادة معاملاتها عند

الحاجة، وبيعها لإعادة استخدامها بواسطة بعض المصانع الأخرى. بيوت النظافة والتصفية والتبادل لاقت بعض النجاح في عدد من الدول الأوروبية والاسكندنافية. حيث التنظيمات الخاصة أو الحكومية المدعمة للتبادل يمكن أن تقوم بأدوار هامة في إدارة المخلفات الخطرة في السنين القادمة في الولايات المتحدة ودول أخرى كثيرة.

٥- استعادة صلاحية الأماكن حيث تم التخلص العشوائي للمخلفات الخطرة :

Site Remediation:

كثير من المصانع المنتجة للمخلفات الخطرة قامت بالتخلص من مخلفاتها بدون مراعاة لحماية الصحة العامة وحماية البيئة والتخلص بطريقة آمنة. ومثل هذه الحالات يلزم اتخاذ الخطوات اللازمة لعلاجها. ولكن إجمالى مساحة منطقة الردم ودرجة ما أحدثه هذا التخلص العشوائى من الأضرار بالبيئة بدون دراسات مكثفة يقوم بها المهندسون، الجيولوجيون، خبراء البيئة للموقع وتصميم خطة الحماية وخاصة بالنسبة للتلوث الهيدروولوجى (للمياه الجوفية)، وذلك بعمل الأبحاث والدراسات الميدانية قبل البدء فى تنفيذ طرق الإصلاح والعلاج.

مراحل عمل الأبحاث والدراسات الأولية تتضمن:

١- طرق أخذ العينات من الموقع :

إصلاح الموقع يجب أن يسبقه دراسات مكثفة عن حالة السطح وأسفل السطح، حيث أخذ العينات يعتبر الإجراء العام لتلك الدراسات الحقلية. ومن المهم اختيار طريقة أخذ العينات. الدراسات الحقلية للموقع يمكن أن تكون بدون اختراق أو بالاختراق للتربة. الدراسات والمباحث الحقلية بدون اختراق تشمل التصوير الجوى، الدراسات الجيولوجية للسطح. والدراسات الإشعاعية للسطح. يمكن استخدام واحد أو أكثر من هذه الطرق وذلك قبل أخذ العينات من الموقع لإجراء التحاليل المعملية. يمكن الاستعانة بالصور الجوية التى تؤخذ باستمرار أو السابق تصويرها وذلك للتعرف على حدود مساحة منطقة الردم، مسارات الصرف، وأماكن التخزين، وأماكن مصدر التلوث. التقنيات الجيوفيزيائية (Geophysical) تتضمن الكهرومغناطيسية، رادار اختراق التربة، الدراسات بالزلازل الصناعى (Seismic). وهذه يمكن أن توفر بيانات إضافية عن الموقع مثل أماكن البراميل المدفونة فى بعض الحالات، وحدود المناطق الملوثة. وتقنيات المباحث الراديولوجية تستخدم لتحديد المساحات حيث تتركز المخلفات ذات النشاط الإشعاعى. الطريقة العادية

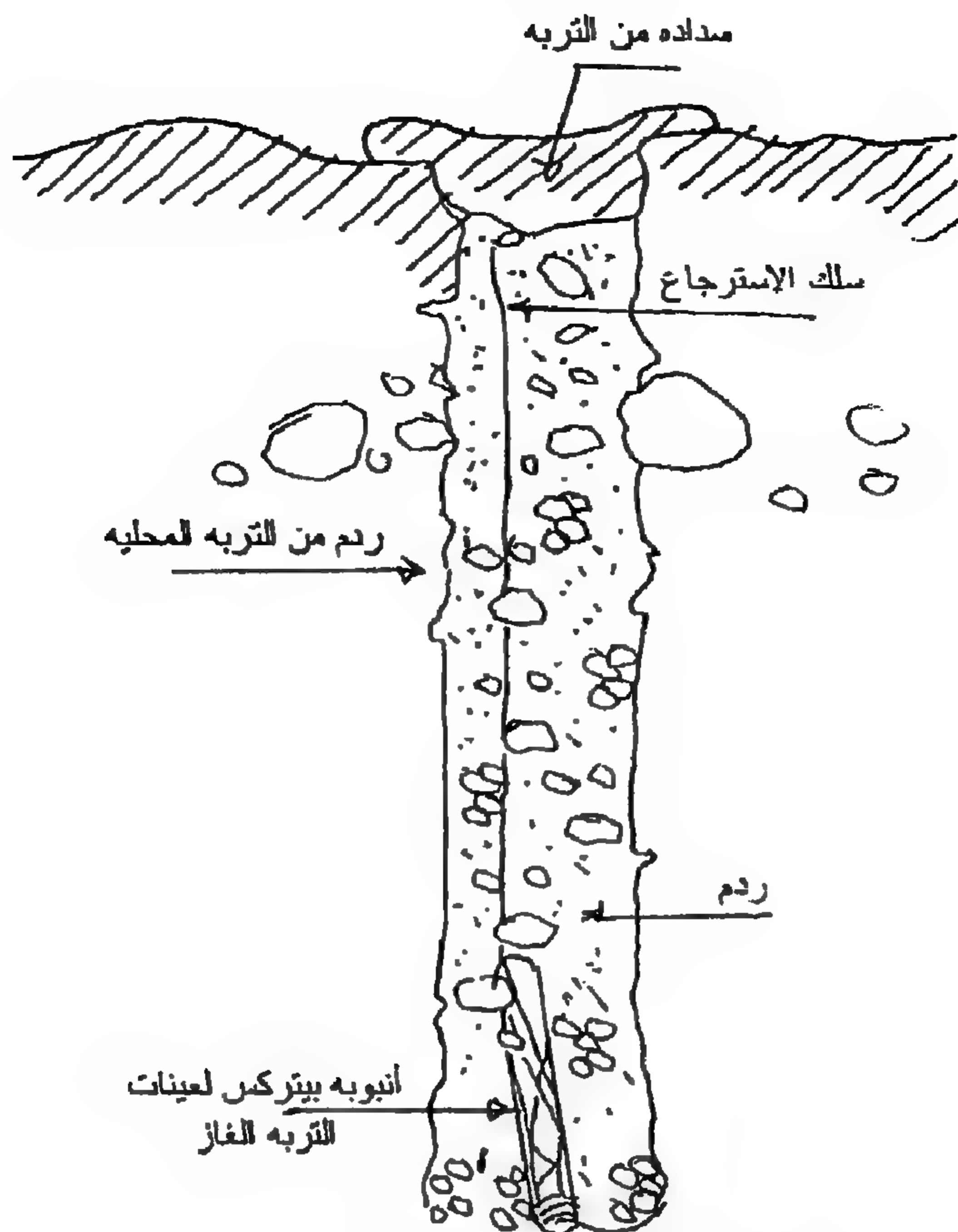
والمؤثرة للدراسات الراديولوجية هي طريقة أشعة جاما (Gamma - Work Dver Survey)، وتجرى هذه الطريقة بحمل جهاز الكشف بأشعة جاما على السطح في خطوط مسار محددة.

تقنيات أخذ العينات بالاختراق : (Intrusive Sampling)

تقنيات أخذ العينات بالاختراق تشمل اختراق سطح الأرض أو سطح الماء. وهذه تشمل مباحث التربة - الغاز وكذلك أخذ عينات رواسب التربة، المياه السطحية، والمياه الجوفية. لمنع إحداث التلف ولأغراض الأمان فإنه يجب عمل دراسات مسبقة قبل أخذ العينات بالاختراق.

ب- المباحث الحقلية لعينات الغاز :

وهذه طريقة غير مكلفة نسبياً وتستخدم حيث المركبات العضوية المتطايرة يمكن أن تكون من بين ملوثات الموقع. يتكون غاز التربة (مثل غاز الميثان والهيدروكربونات الأخرى) طبيعياً في التربة عند تحلل المركبات العضوية. يكون من الضروري جمع عينات غاز التربة من المساحات القريبة من الموقع للتفرقة ما بين المخلفات الطبيعية والمسببة للتلوث. من بين طرق أبحاث غاز التربة (Gas - Soil)، التصفية الحقلية (Field Screening) والتي توفر السرعة والاقتصاد في الحصول على النتائج. في هذه الطريقة يستخدم كاشف محمول يعمل بالتأين الضوئي (Portable Photoionization Detector) والمزود بقضيب أخذ العينات التي يتم دفعه يدوياً والذي يفيد أساساً عندما تكون مستويات التلوث أكبر من واحد جزء في المليون. قضيب أخذ العينات يمكن دفعه لأقصى عمق في الأرض وهو حوالي ١,٥ متر. نوع آخر من طرق البحث والاستطلاع هو طريقة عينة الأنبوبة (Sample Tube) الموضحة في الشكل (٥/١١). في هذه الطريقة أنابيب الاختبار الزجاجية المحتوية على شعيرات الحديد المغناطيسية (Ferromagnetic Filaments) والكربون المنشط للامتصاص يتم وضعها أسفل سطح الأرض وتركها لفترة زمنية. بعد أن يتم استرجاعهما يتم إرسالهما إلى المعمل حيث يتم تحليل العينة باستخدام كتلة القياس الطيفي (Mass spectrometer) والتي تؤكد التعرف الدقيق لمعظم المركبات العضوية. هذه الطريقة مفيدة جداً في الأماكن حيث يكون مستوى التلوث منخفض جداً لأن أنابيب العينة يمكن تركها في الأرض لمدة زمنية طويلة للحصول على النتائج. النتائج رغم هذا قد تستغرق عدة أسابيع للحصول عليها.



شكل (٥/١١) منشأ ضحل لأنبوب عينات بتركس للتربة - الغاز

أخذ عينات التربة : (Soil Sampling)

أحد أهداف المباحث الحقلية هو لتعيين درجة التلوث الموجودة في التربة. التربة يمكن أن تكون ملوثة بفعل الانسكاب الكيماوى، التسرب من خزانات الحفظ تحت الأرض، البراميل المدفونة، وكذلك التخلص العشوائى من المخلفات. تقنية أخذ عينات غاز - التربة السابق الإشارة إليها تفيد فقط في حالة المواد العضوية المتطايرة، ولذلك فإن هناك طرق أخرى تستخدم عندما تكون الملوثات غير متطايرة.

أدوات أخذ العينات تشمل مجرفة، مثقاب يدوى (Hand Auger) ومطرقة منزلقة، وعدد من أنبوب أخذ العينات. يمكن استخدام المجرفة اليدوية لجمع العينات المخطوفة من التربة السطحية، يتم وضع العينة مباشرة في قنينة الحفظ. تستخدم هذه الطريقة لأخذ عينات التربة الغير عميقة، رغم أن الامتداد لعمق أقل من ١,٥ متر يمكن تحقيقه باستخدام

المتقارب اليدوى. نظراً لأن دوران المتقارب يعمل على خلط التربة فإن هذه الطريقة تفيد أساساً في حالة العينات المركبة. العينات من التربة الغير عميقة يمكن الحصول عليها كذلك باستخدام أداة الحفر المجرفة والمطرقة والتي تشمل اسطوانة مجوفة من الصلب المقاوم، وقضيب امتداد والمطرقة التي تستخدم لدفع الاسطوانة الجوفاء في التربة، حيث تنقل العينة من الاسطوانة إلى قنينة الحفظ.

تجميع عينات التربة من أعماق أكبر من ١,٥ متر يتم عادة بدفع أنبوبة مسمطة لأخذ العينات، حيث تستخدم أدوات حفر لدفع جهاز أخذ العينات إلى عمق كبير في التربة. أحياناً يمكن استخدام أنبوبة أخذ العينات ذات الجدار الرقيق بالدفع الهيدروليكي في التربة بدلاً من الدفع بالطرق. بهذه الطريقة فإن عينة التربة لا تكون مدكوكة.

أخذ عينات الرواسب والمياه السطحية :

أحياناً يكون من الضروري تعيين ما إذا كانت الملوثات موجودة في ترسيبات المجارى المائية أو الأنهار أو قرب الموقع. أهمية ذلك بسبب احتمال سرعة انتشار الملوثات في المياه المتدفقة. بالإضافة إلى طريقة المجرفة والمطرقة المنزقة، فإنه يمكن أخذ عينات الرواسب باستخدام الطريقة الصندوقية لأخذ العينات. في هذه الطريقة يتم دفع صندوق أخذ العينات من الصلب المقاوم المزود بفكي كماشة العينة المحمل على زنبرك وقضيب مزود بآلية تحرير الزنبرك في الرواسب.

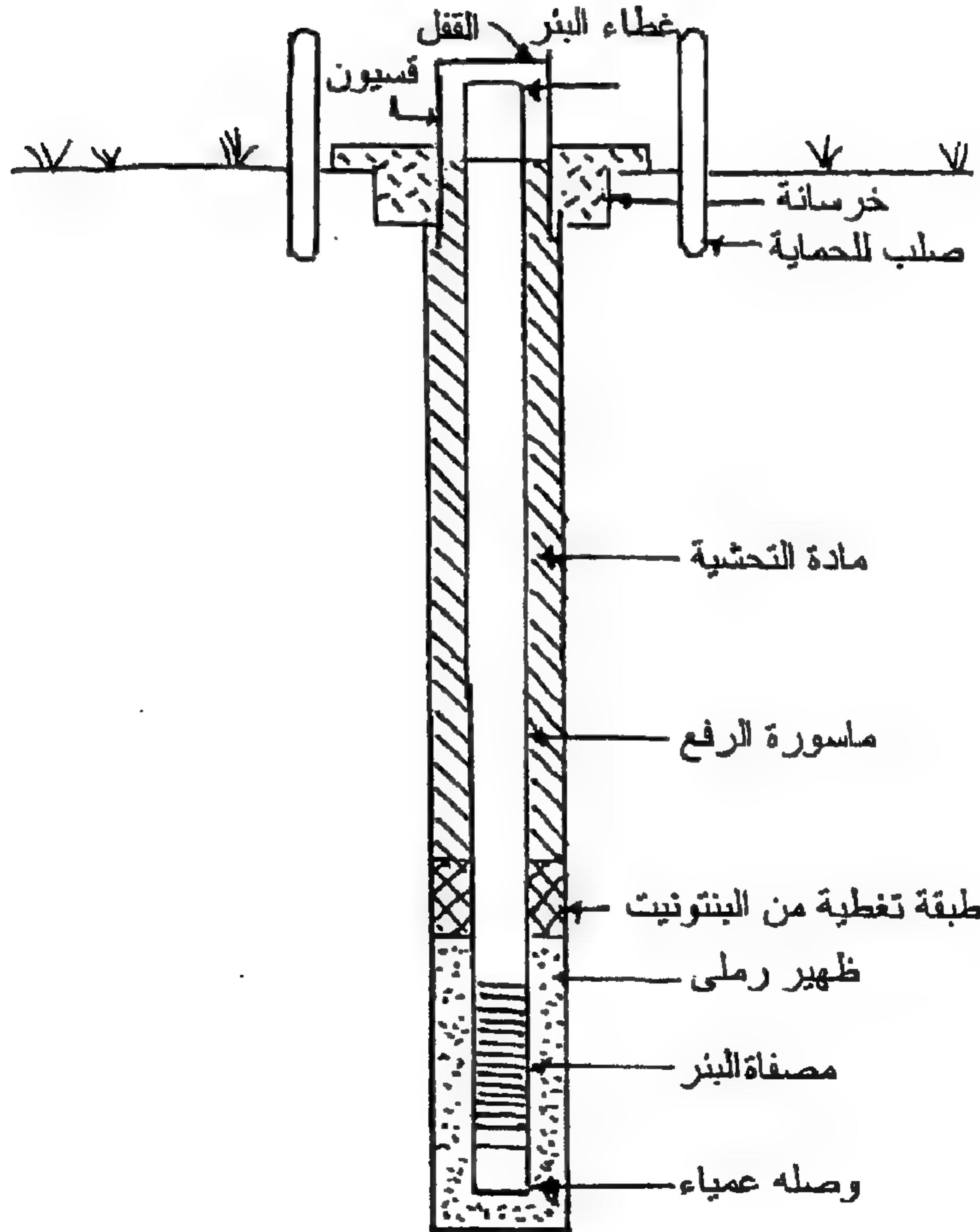
عند تحرير فكي الكماشة فإن قاع الصندوق يتم قفله حيث يمكن استعادة العينة من الماء. بالإضافة إلى تلوث التربة والرواسب، فإنه يكون من الضروري عادة ما إذا كانت الملوثات قريبة من المياه السطحية أو قرب الموقع. العمق الذى تؤخذ عنده العينات يتوقف على المستوى المشكوك فيه وطبيعة الملوث، ولكن عادة يتم جمع العينات من سطح الماء، بالنسبة لجمع العينات عند منسوب أقل من ١,٥ متر من سطح الماء، يمكن استخدام قنينة العينات الممتدة، حيث عند خفض القنينة إلى العمق المطلوب يتم رفع الغطاء حيث تملأ القنينة بالماء. يمكن جمع العينات عند أعماق أكبر من ١,٥ متر باستخدام طريقة (Kemmer Bott Method)، حيث يتم خفض القنينة بواسطة كابل مرن وفتحها بواسطة ثقل التحرر.

أخذ عينات المياه الجوفية :

دائماً يوجد احتمال أن الملوثات الموجودة في التربة سوف تتسرب نحو المياه الجوفية أسفل الموقع الملوث. بمجرد وصول الملوثات إلى المياه الجوفية فإنها تنتشر في كل الخزان الجوفى. استخدام القنينة المسماة طريقة الدفع المباشرة (Direct push method)

مع المعمل المتحرك والذي يوفر الجمع السريع والتحليل للعينات بطريقة اقتصادية. تستخدم قضيب الضغط المركب على عربة بطريقة هيدروليكية واستخدام المطرقة وذلك لضغط قضيب أخذ العينات حتى عمق ٦٠ متراً خلال التربة حتى الوصول إلى المياه الجوفية. عندئذ يتم إنزال أداة نزع أو دلو ذو قطر صغير أو قنينة عينات بثقل داخل القضيب. بعد التقدير الأولي لحالة المياه الجوفية بهذه الطريقة، فإنه يمكن عمل بئر رصد ثابت وذلك لأخذ العينات لفترة طويلة وكذلك لإمكان عمل الإصلاحات في الموقع.

آبار الرصد توفر تكرار أخذ عينات المياه الجوفية، وكذلك ملاحظة التغير في مناسيب المياه الجوفية. المكونات الرئيسية لبئر رصد المياه الجوفية موضحة في الشكل (٥/١٢).



شكل (٥/١٢) المكونات الأولية لبئر رصد المياه الجوفية

تكون فتحات مصفاة البئر المصنوعة من الصلب أو من البى فى سى كبيرة نسبياً وذلك لتسمح بحرية التحرك للمياه الجوفية والملوثات نحو البئر، وفى نفس الوقت تكون صغيرة لحجز معظم حبيبات التربة. توجد وصلة صماء أسفل المصفاة لحجز حبيبات التربة الصغيرة التى تمر خلال المصفاة، وهذه يمكن تنظيفها بانتظام للمحافظة على نظافة مصفاة البئر.

قبل جمع العينات من بئر الرصد، فإنه يجب تنمية البئر. حيث أن ذلك يعيد للخران الجوفى خواصه الهيدروليكية والجيوكيماوية والتى قد يكون حدث لها اضطراب أثناء عملية حفر البئر. التنمية تشمل الاضطراب (Surging) والضخ لمدة طويلة بما تكفى لنظافة البئر وكذلك لثبات نوعية المياه من ناحية الرقم الهيدروجينى، ودرجة الحرارة، والتوصيل الكهربى. جنبا إلى جنب مع عملية التنمية للبئر فإنه يجب أن تجرى عملية النظافة والتى نعنى بها إزالة المياه الساكنة من البئر بما يمكن من جمع العينة الممثلة للواقع. يتم أولاً ملاء قنينات العينات للمواد العضوية المتطايرة، ذلك لأن المواد العضوية المتطايرة يتم فقدتها باستمرار إلى الجو أثناء تنفيذ طريقة أخذ العينات. عادة يتم أخذ قراءة منسوب المياه قبل أخذ العينة من البئر. عينات المياه الجوفية يمكن سحبها من البئر بطرق كثيرة. أبسط طريقة غير معقدة لأخذ العينات هى بإنزال (Bailer) فى البئر على خط (Fishing line) بعد رفع (Bailer) يتم نقل المياه فى مجموعة من أوعية جمع العينات. التجهيزة المسماه (Bomb Sampler) يمكن إنزالها فى البئر، وهذه توفر جمع المياه عند عمق محدد فى عامود الماء. يمكن إنشاء طلمبة المكبس (Piston Pump) فى البئر لإمكان أخذ العينات بانتظام لمدة زمنية طويلة، وكذلك يمكن استخدام الطلمبات الغاطسة فى حالة الآبار العميقة.

أخذ عينات المخلفات الملوثة :

البراميل والخزانات التى قد تحتوى على مخلفات خطرة هذه توفر مشاكل أمنية، حيث يجب فتحها وأخذ العينات بالطريقة التى تمنع التسرب المفاجئ للأبخرة أو السوائل، أو اللهب، أو الانفجارات. يتم أخذ عينات ممثلة للواقع من عمق البرميل أو الخزان.

المباحث الحقلية والتأمين :

يمكن مواجهة كثيراً من المخاطر والعقبات أثناء المباحث والدراسات الحقلية لموقع مخلفات خطرة. الفنيين القائمين بالمباحث الحقلية يجب أن يكون لديهم المعرفة الكافية للمخاطر بما يتطلب إجراء المباحث للموقع مع الحذر الشديد. المثالى هو أن يتكون طاقم

المباحث الحقلية بما لا يقل من ثلاثة أفراد لأغراض التأمين. بالإضافة إلى معرفة كل الخواص الكيماوية والطبيعية والبيولوجية لمواد المخلفات الخطرة، فإنه يجب أن يكون لهم المعرفة التامة بتقنيات الإسعاف الأولى. كما يجب أن يكون لديهم الدراية بالاستخدام المناسب والتشغيل لمهمات الوقاية الشخصية والمعدات وكذلك بتجهيزات أخذ العينات والكشف عن الغازات السامة أو القابلة للاشتعال مع استخدام الظروف الجوية الخالية من الأكسجين أثناء المباحث الأولية للموقع.. مثل هذه التجهيزات يجب أن تكون معيرة قبل الاستخدام. بالإضافة إلى حماية التنفس فإنه يجب استخدام المهمات والمعدات لحماية العين والجسم. حماية العين تشمل استخدام نظارات الوقاية، أو حماية الوجه المتصل بغطاء الرأس الصلب، وذلك طبقاً للمخاطر المحتملة. أحياناً تستخدم مهمات التغطية الكاملة المقفلة. أنواع ومستويات الحماية المطلوبة يتم تحديدها قبل دخول العامل إلى الموقع.

مستويات الحماية لدخول الموقع :

معدات حماية الجسم من الالتصاق بالمواد المعروفة أو المحتملة كمواد كيماوية خطيرة تنقسم إلى أربعة أقسام طبقاً لدرجة الحماية التي توفرها :

١- المستوى (أ) : يكون ذلك عندما يكون المطلوب أعلى مستوى من الحماية للجهاز التنفسي والعين والجلد.

٢- المستوى (ب) : عندما يكون أعلى مستوى من الحماية مطلوب للجهاز التنفسي ولكن مستوى أقل لحماية الجلد. وهذا أدنى مستوى يوصى به عند الدخول الأولي للموقع حتى التعرف على المواد الخطرة بالدراسة الحقلية.

٣- المستوى (جـ) : يكون ذلك عند معرفة أنواع المواد التي يحملها الهواء، وقياس التركيزات، مع مطابقة متطلبات استخدام أجهزة التنفس بتقنية الهواء.

٤- المستوى (د) : انتظام العمل بما يوفر أدنى حماية، حيث لا يتم استخدام أجهزة حماية الجلد أو الجهاز التنفسي في أى مكان.

حماية العمل في الموقع :

١- لمنع الانتقال الغير متعمد للمواد الخطرة من موقع المخلفات إلى المناطق التي لا تتأثر، فإنه يلزم السيطرة والتحكم في العمل عند مواقع المخلفات الخطرة، ويمكن تحقيق ذلك بعدة طرق من بينها.

أ - وجود عناصر أمن وموانع طبيعية لإبعاد أى أشخاص عدا طاقم العمل عن المنطقة.

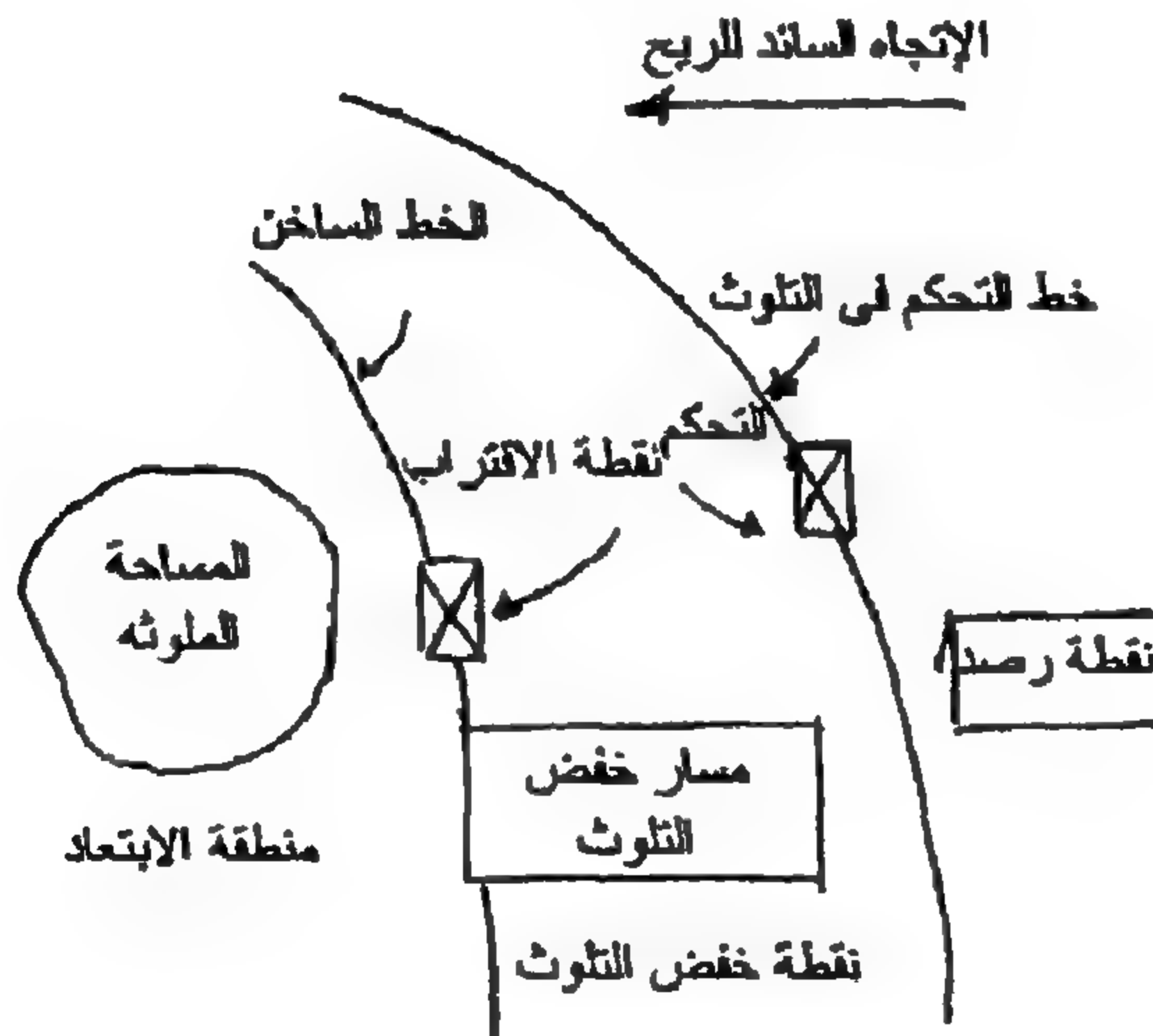
ب - تحديد مناطق للعمل داخل الموقع وطرق الاقتراب منها.

ج - تنفيذ الأعمال بالطريقة التى تقلل من تعرض العاملين والمعدات وتقليل احتمال انتشار الملوثات فى الهواء.

د - تبنى الخطط المناسبة لخفض التلوث.

منطقة العمل :

طريقة خفض انتقال الملوثات هى بالرسم والتحديد الدقيق للمناطق فى الموقع حيث تتم العمليات التى تم توصيفها. يكون التحرك للأفراد والمعدات بين المناطق محدوداً بواسطة نقطة التحكم فى الاقتراب. المناطق الثلاث العادية هى منطقة الابتعاد، ومنطقة خفض الملوثات، ومنطقة المعاونة شكل (٥/١٣).



شكل (٥/١٣) مخطط لمناطق العمل فى الموقع

منطقة الابتعاد هى المنطقة الداخلية للمناطق الثلاث ذات المركز الواحد، وهى المنطقة حيث التلوث يكون موجوداً أو محتمل وجوده. يتم وضع نقطة تحذير حول محيط المنطقة (يسمى الخط الساخن) لتنظيم تحرك المعدات والأفراد فى الدخول والخروج، كل الأشخاص الذين يدخلون المنطقة يجب أن يستخدموا مستويات الحماية المناسبة. يتم تسوير الخط الساخن بعلامات تحذير ويمكن إضافة المعلومات المتاحة. منطقة المعاونة وهى

الجزء الخارجى من الموقع وهى منطقة نظيفة وغير ملوثة. يتم وضع عربة حمل المعدات ومركز الإدارة فى هذه المنطقة: مع الحد من المرور باستثناء المصرح لهم بذلك.

منطقة خفض التلوث توفر الفاصل بين المنطقة. الإبعاد الملوثة والمنطقة النظيفة (منطقة المعاونة). توضع محطات إزالة التلوث فى هذه المنطقة واحدة للأفراد وواحدة للمعدات.

الخروج من منطقة الابتعاد يكون من خلال مسار خفض التلوث. خط الحدود ما بين منطقة خفض التلوث ومنطقة المعاونة يسمى خط التحكم فى التلوث. الوصول إلى منطقة خفض التلوث من منطقة المعاونة يكون خلال نقطة تحكم. الأفراد الذين يدخلون يجب ارتداءهم مهمات الحماية المناسبة، دخول منطقة المعاونة يتطلب إزالة كل معدات الحماية التى تم ارتدائها فى منطقة خفض التلوث.

تقنيات المعالجة والإصلاح :

الهدف الأساسى لمعالجة الموقع هو أى خطر يسبب انتشار أو تسرب مادة المخلفات وكذلك لتقليل أى تهديد للصحة العامة ونوعية البيئة وخاصة بالنسبة للمياه الجوفية. طريقة الأداء المطلوبة تتوقف على نوع مادة المخلفات وكذلك مدى التلوث الموجود، ومكانه، وعوامل أخرى. حيث أن كل مكان يعتبر ذو خواص معينة أساساً بالنسبة للظروف الهيدرولوجية، لذلك فإنه لا يوجد تشابه فى علاج نوعين من المخلفات الخطرة، حيث يلزم عمل الإجراءات الهندسية المدققة فى كل حالة.

إزالة المخلفات :

أحد الطرق الممكنة للعلاج هى بالإزالة لمادة المخلفات من الموقع بالحفر أو الالتقاط والنقل لمكان آخر للمعالجة، للحرق، أو للتخلص النهائى بالردم المؤمن. هذا الحل فى الموقع يمكن أن يكون الأكثر ملاءمة لمن يعيشون قريباً من الموقع ولكن يمكن أن يكون ذلك مكلفاً. كذلك فإن نقل المخلفات من مكان إلى آخر مازال يحمل مخاطر تلوث البيئة. التربة الملوثة يمكن إزالتها باستخدام المعدات المناسبة، ولكن يلزم معدات خاصة لإزالة الأوعية والبراميل المدفونة. يجب الحذر الشديد لمنع انطلاق الملوثات أثناء عمليات الحفر أو الإزالة.

انتشال الرواسب الملوثة من برك المخلفات الخطرة يتطلب كذلك احتياطات خاصة لمنع حدوث تلوث إضافي. تستخدم آلات القادوس أو الدلو المحارى، أو ناقلة بسلسلة جر، والحفارة العكسية لالتقاط الرواسب الملوثة في بعض الحالات، قد يكون من الضروري أحيانا تحويل المجرى أو عمل سد أولا. عندما تكون الرواسب غير متماسكة أو أنها ذات محتوى عالى من المياه، فإن المادة يمكن ضخها في شكل الردغة وهذا ما يسمى بالانتشال الهيدروليكي. المادة الملتصقة يمكن سحب المياه منها حيث تتم المعالجة المناسبة لكل من الماء والمادة الصلبة كل على حدة ثم التخلص النهائي.

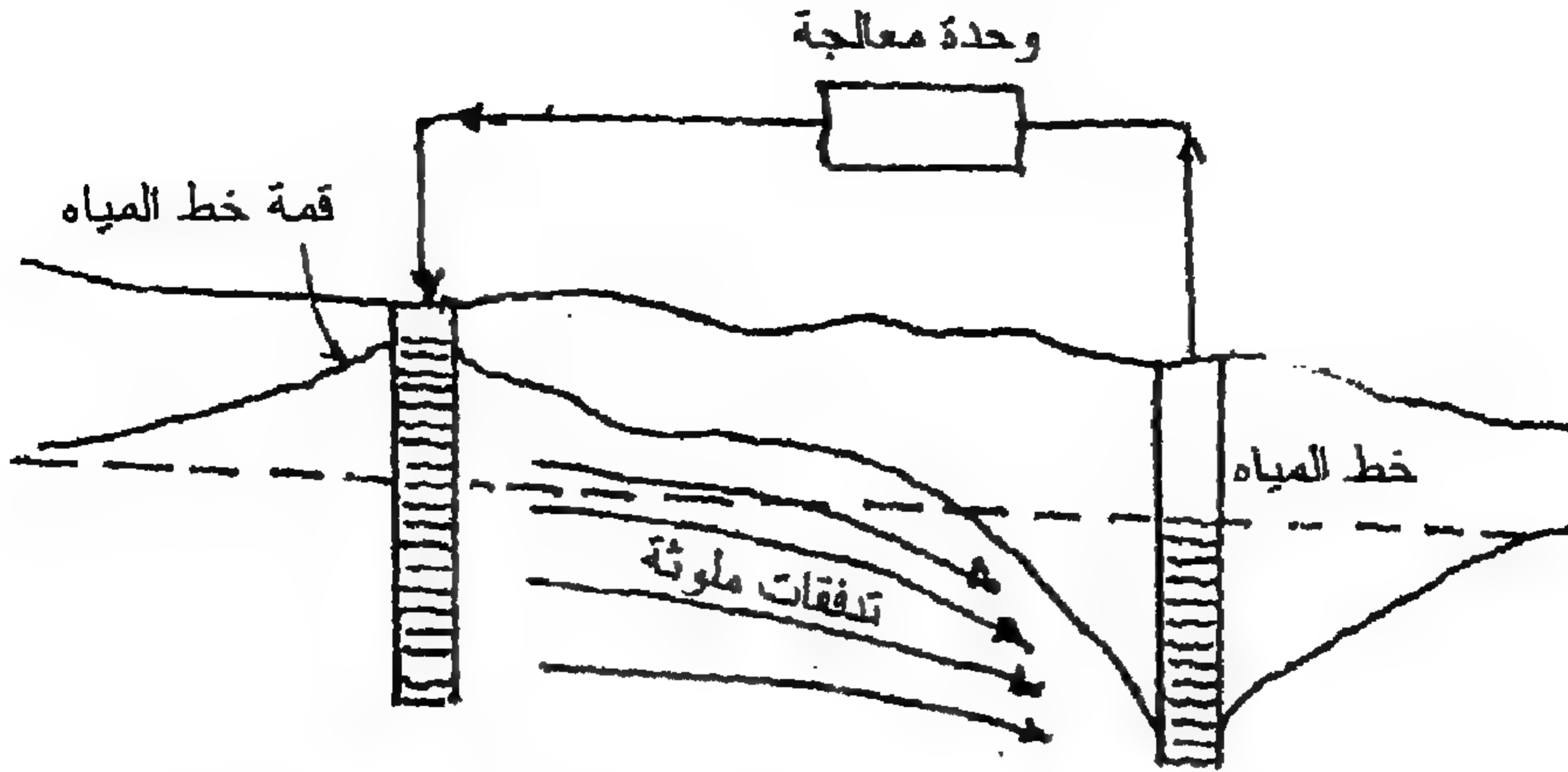
العلاج في الموقع :

العلاج في الموقع حيث لا يتم إزالة الملوثات إلى مكان آخر، يكون الهدف منها هو خفض التسرب وحماية المياه الجوفية من التلوث، وكذلك احتواء ومنع تحرك أو تسرب لاي مياه جوفية كانت قد تلوثت. وهذا يمكن أن يتضمن الإزالة المؤقتة للمخلفات، إنشاء منطقة ردم مبطنة ومؤمنة في نفس الموقع، مع إعادة وضع المخلفات في منطقة الردم الجديدة. وقد تتضمن استخلاص التربة أو المياه الجوفية، المعالجة أو إتلاف الملوثات، ثم إعادة وضع أو إعادة حقن للتربة أو المياه الجوفية النظيفة. وأخيرا فإن المعالجة في الموقع قد تشمل العزل والاحتواء للمخلفات بدون تحريكها وذلك بإقامة حواجز غير مسامية لمنع تدفق المياه أو السوائل الأخرى.

الاستخراج، المعالجة، الإعادة :

المياه الجوفية في موقع مخلفات قديم يمكن ضخها أو استخراجها لخفض خط المياه الاستاتيكي ليكون أسفل مادة المخلفات الخطرة. في كثير من الحالات يتم استخراج المياه الجوفية من منطقة ملوثة ومعالجتها لإزالة الملوثات. المياه المعالجة يمكن صرفها على سطح الأرض أو إعادة شحنها الجوفى حول حدود الكتلة المائية. طريقة الضخ والمعالجة موضحة في الشكل (٥/١٤).

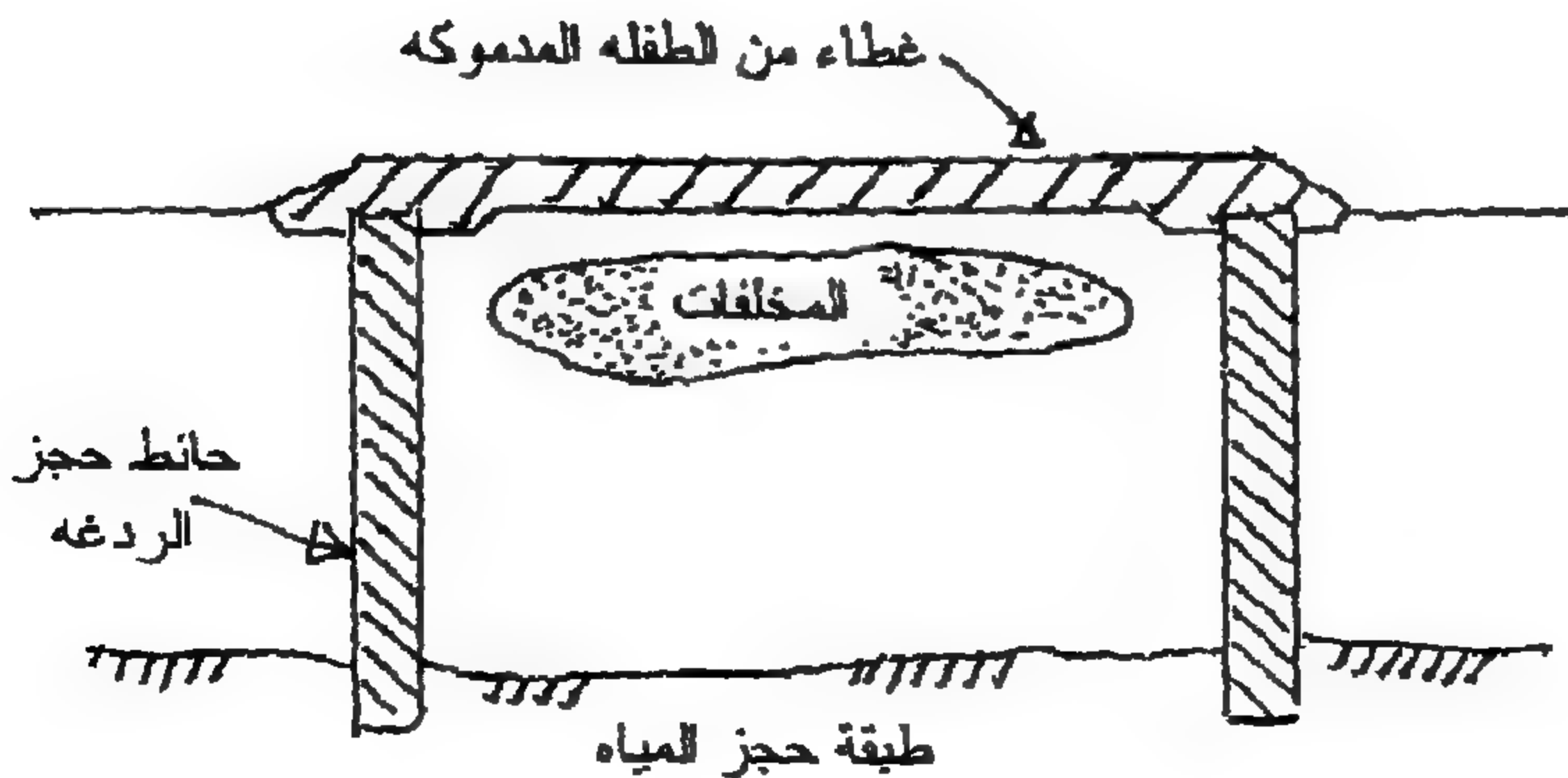
يمكن إزالة غاز التربة السام أو القابل للاشتعال الناتج عن التحلل اللاهوائى أو تطاير المخلفات المدفونة باستخدام مروحة سحب حثية (Induced Draft Extraction Fan) والمعالجة بالادمصاص على الكربون المنشط. في بعض الحالات يمكن تدمير الغازات بالشعلة (Flare) أو بتجهيزات الحرق. كذلك فإن التربة الملوثة يمكن استخراجها بالحفر من موقع المخلفات الخطرة ومعالجتها، ثم إعادتها إلى الموقع.



شكل (٥/١٤) طريق الضخ والمعالجة لمعالجة المياه الجوفية الملوثة

طرق الاحتواء التام :

يمكن إنشاء الحوائط الرأسية من دعائم ألواح الصلب أو خنادق الردغة (Slurry Trenches) لإيقاف التحرك الأفقي للسائل. ولكن حواجز القطع تحت السطح هذه تكون مفيدة فقط في حالة وجود طبقة صماء أسفل موقع المخلفات. حائط الحجز يجب أن يخترق هذه الطبقة والتي تعمل كبطانة حماية طبيعية سفلية. يمكن دفع دعائم ألواح الصلب لعمل الحوائط الرأسية بعمق حتى ٣٠ متراً إذا كانت التربة ليست صخرية، ولكن هذه الدعائم من الصلب تكون غير مناسبة إذا كانت المخلفات تحتوى على سوائل عدوانية. يمكن بناء حائط حجز لردغة السائل لاحتواء معظم المخلفات الخطرة كما هو موضح فى الشكل (٥/١٥).



شكل (٥/١٥) حائط حجز الردغة يمكن استخدامه لمنع انتشار المياه الجوفية الملوثة

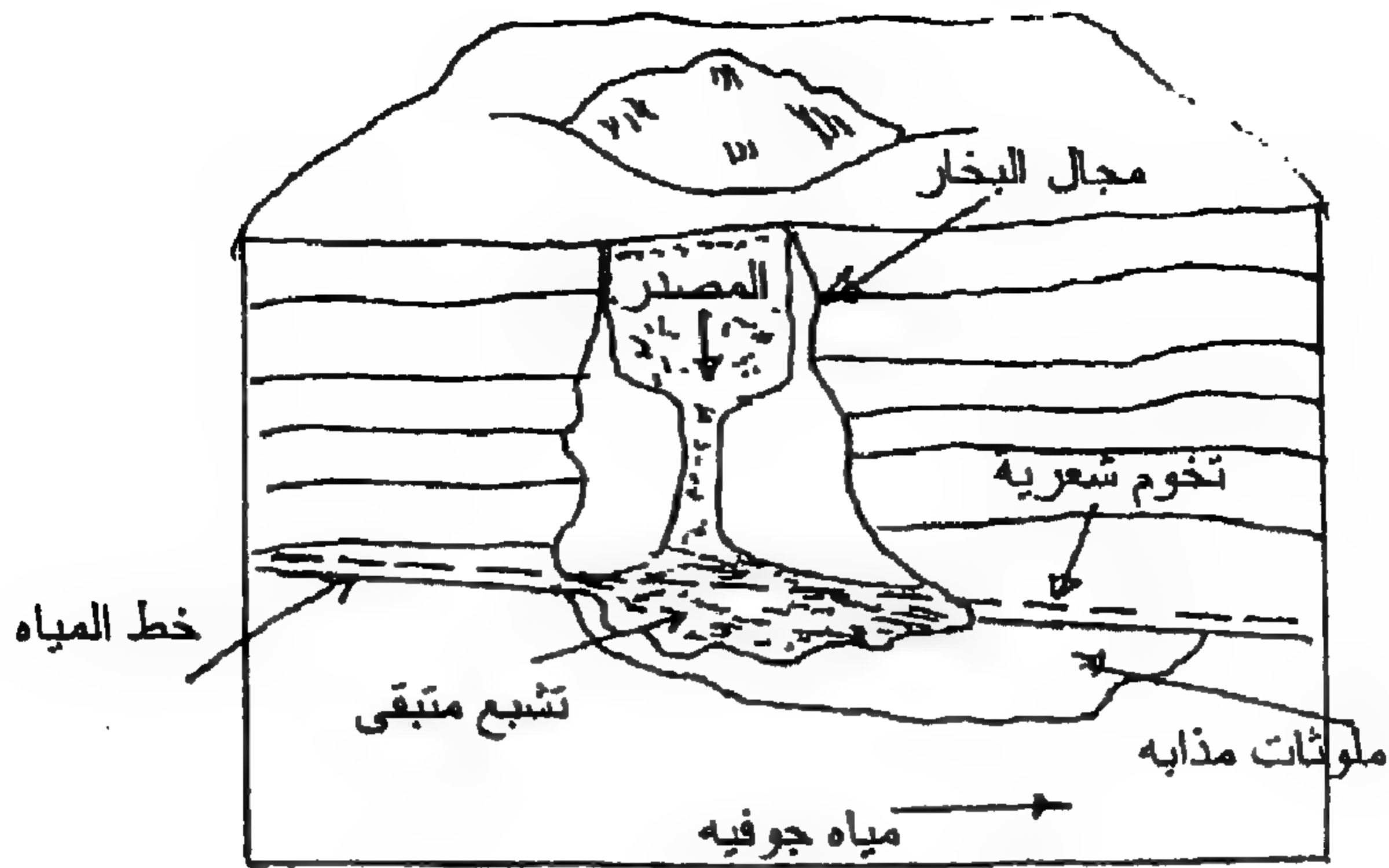
نحو موقع الردم للمخلفات الخطرة مهجور.

حائط الحجز لخندق الردغة يمكن حفره من سطح الأرض بدون تحريك أو إرباك مادة المخلفات. الخنادق ذات العرض التقريبي واحد متر وعمق حوالي ٣٠ متراً يمكن حفرها بدون انهيار وذلك بملئها مؤقتاً بردغة طفلة البنتونيت. الردغة، الكثيفة (خليط من الطفل والماء) تحافظ على ثبات الخندق أثناء الحفر لحين إعادة ملئه بالمادة التي تكون الحاجز الرأسى. مادة الملء يمكن أن تكون خليط من التربة والأسمت أو من التربة والطفلة، حيث يجب الخلط جيداً لتصل النفاذية إلى ١٠-٨ ملليمتر فى الثانية أو أقل لإيقاف سريان الماء. فى بعض الحالات يمكن عمل حائط فى خندقين، أو حائط فى خندق مجهز بطبقة بطانة من مادة مخلقة وذلك لزيادة تأكيد عدم حركة المادة أو السائل داخل أو خارج المكان.

الإصلاح البيولوجى فى الموقع : (In situ Bioremediation)

العلاج البيولوجى هو تقنية تستخدم فى نظافة التربة الملوثة أو المياه الجوفية فى أماكن المخلفات الخطرة. وهذه تعتمد على الأداء البيولوجى فى تحويل الملوثات إلى مواد غير ضارة. استخدام الكائنات الدقيقة للأغراض البيئية ليس بجديد، فقد استخدمت لعقود كثيرة فى المعالجة الثانوية لمياه الصرف الصحى. ولكن كيف يتم استخدام المعالجة البيولوجية فى الموقع، حيث مناطق الردم للمخلفات الصناعية الخطرة القديمة.

فى التربة فوق خط المياه الجوفية، يمكن وجود التلوث فى أربع مجالات. يمكن أن يكون فى حالة البخار خلال الفراغات المسامية، وفى مجال الادمصاص ملتصقا بحبيبات التربة، والمجال السائل مذابا فى الماء، وفى الحالة السائلة فى شكل مجال سائل غير مائى. أسفل خط المياه الاستاتيكي يمكن أن توجد الملوثات فى كل هذه المجالات عدا الحالة البخارية. ملوثات معينة مثل مشتقات البترول من الهيدروكربونات (مثل الجازولين.. الخ) تكون ذات كثافة أقل من كثافة الماء وتسمى سوائل خفيفة ذات مجال غير مائى. وهذه تميل إلى الطفو على سطح خط المياه الاستاتيكي وتنتشر عرضياً كما هو موضح فى الشكل (٥/١٦).



شكل (٥/١٦) التوزيع أسفل الأرض للسوائل الخفيفة الغير مائية.

ملوثات أخرى منها الهيدروكربونات الكلورة (مثل رابع كلوريد الكربون والتراي كلورو إيثان)، تكون أكثر كثافة عن الماء وهي تسمى سوائل المجال الكثيف الغير مائي. هذه المواد تميل إلى الحركة إلى أسفل وأحيانا بعمق حتى المياه الجوفية. الهيدروكربونات الكلورة تستخدم على نطاق واسع كمذيب صناعي لإزالة الشحوم. وعادة ما يتم التخلص منها عشوائياً في مواقع التخلص (Refuse sites)، البرك، في براميل حفظ، المذيبات الكلورة كمجموعة هي من أكثر أنواع الملوثات للمياه الجوفية، فهذه لا تتحلل بيولوجياً بسرعة مثل المنتجات البترولية.

العلاج البيولوجي للأماكن الملوثة بهيدروكربونات البترول يعتمد عادة على البكتريا الموجودة في التربة. إضافة خليط مناسب من البكتريا للبدء السريع في العملية يمكن أن يقلل من زمن المعالجة. في حالة عدم وجود الأكسجين ومواد الغذاء (النروجين والفوسفور) بكميات كافية يمكن كذلك إضافة واحد أو أكثر من هذه العناصر.

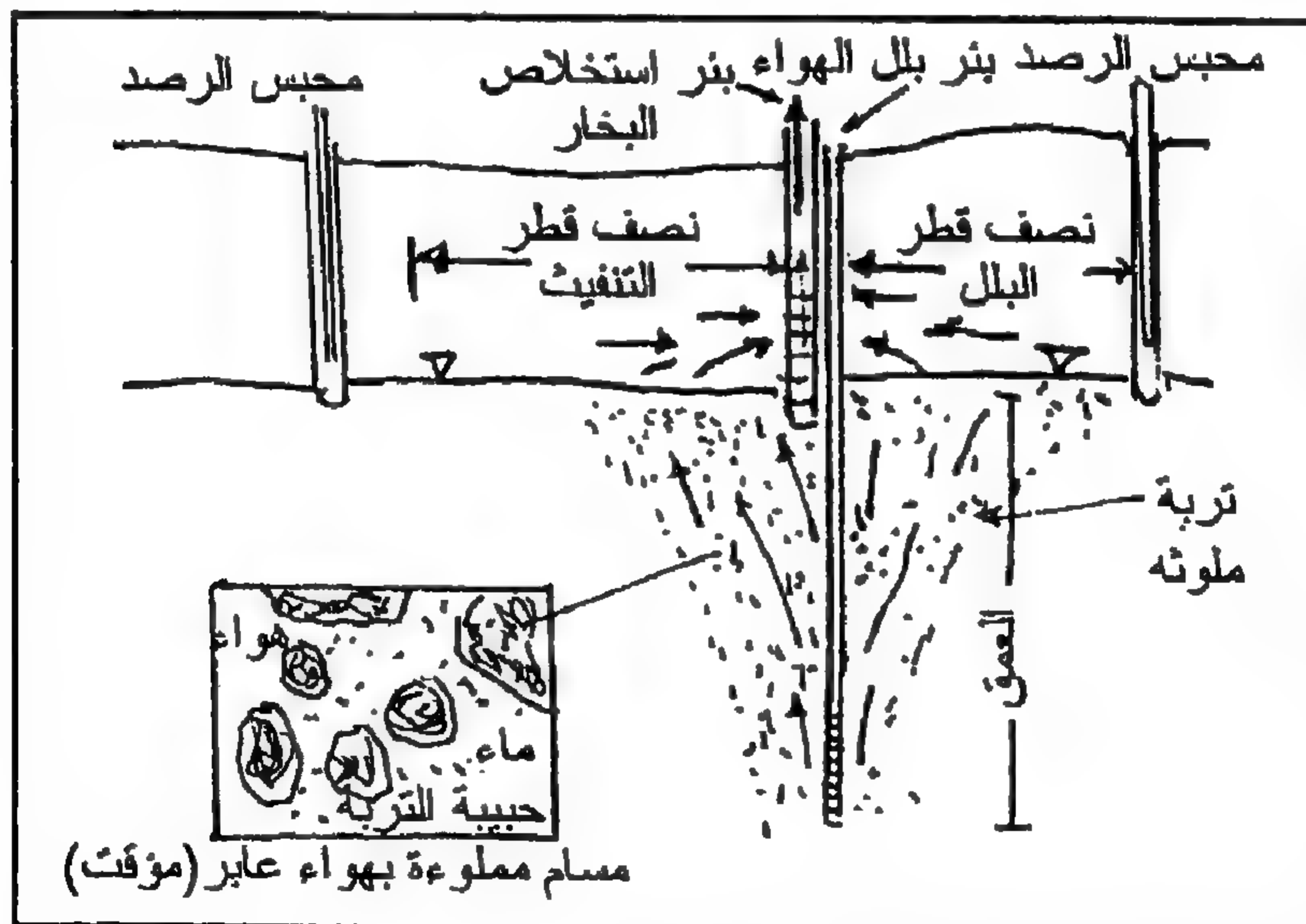
نظم معالجة المياه الجوفية تشمل آبار السحب، آبار الرصد، آبار الشحن الجوفى. المياه الجوفية التي يتم ضخها يتم معالجتها قبل إضافة مواد الغذاء والأكسجين وإعادة الشحن الجوفى. المعالجة يمكن أن تشمل استخدام أبراج التجريد الهوائى (Air stripping Towers) أو الكربون المنشط، أو وحدة فصل الزيت عن الماء، أو وحدة بيولوجية أو بعض أو كل هذه الطرق. يتم وضع الآبار بحيث تتدفق المياه الجوفية الغنية بالأكسجين

ومواد الغذاء نحو آبار السحب، وجزء بسيط من المياه التي تم سحبها يمكن إعادة شحنه، للسيطرة على معدل التدفق، ممر التدفق، يمكن صرف جزء على المياه السطحية.

التنقيط البيولوجي والبلل الهوائي : (Bioventing and Air sparging)

لتنشيط عملية التحلل البيولوجي الهوائي لملوثات الهيدروكربونات البترولية، يمكن حقن الهواء أسفل سطح الأرض. عند خفض الهواء خلال المسام فوق خط المياه فإن هذه العملية تسمى التنقيط البيولوجي، ولكن عند حقن الهواء أسفل خط المياه فإن هذه العملية تسمى البلل الهوائي، كما هو موضح في الشكل (٥/١٧).

عملية البلل الهوائي هي طريقة مؤثرة في معالجة الهيدروكربونات البترولية ذلك لأنها تساعد كذلك على الإزالة الطبيعية بالاستخلاص المباشر للكيمياويات العضوية المتطايرة (VOC'S). يجب التحكم بحذر في تدفق الهواء أثناء عملية البلل الهوائي لتجنب احتمال زيادة انتشار الملوثات. التدفق المنخفض جداً يمكن أن يقلل من كفاءة المعالجة، التدفق المرتفع جداً يمكن أن يسبب فقد السيطرة. لذلك فإن إنشاء نظام البلل الهوائي يجب أن يسبقه دائماً اختبارات معملية أو نصف صناعية (Pilot Test).



شكل (٥/١٧) البلل الهوائي

طرق المعالجة للمذيبات المكلورة :

المذيبات المكلورة يمكن تحويلها بيولوجياً بالكائنات الدقيقة وبذلك إصلاح التربة الملوثة. بالإضافة فإن التربة الملوثة بالمذيبات العضوية يمكن معالجتها بالحفر التفريغي

للتربة لإزالة الأبخرة المتطايرة، يمكن معالجة المياه الجوفية بالتجريد الهوائي. هذه هي عمليات معالجة طبيعية، الأبخرة يتم صرفها في الجو أو معالجتها بالكربون المنشط، أو بالحرق.

العلاج البيولوجي الطبيعي : (Natural Biodegradation)

الكائنات الموجودة في الطبيعة يمكن أن تحلل الملوثات في الأماكن تحت السطح. ولكن هذا يحدث غالباً في حالة توفر الأكسجين في المنطقة فوق خط المياه ولكن يكون من الصعب المعالجة الطبيعية للملوثات أسفل خط المياه الجوفية بما يتطلب استخدام أي من الطرق السابقة.

الفصل السادس

تلوث الهواء

١- مقدمة :

إن الهواء ضروري لكل صور الحياة على الأرض. في المتوسط احتياجات الفرد من الهواء لا تقل عن ٣٠ رطلاً يومياً ليعيش، ولكنه يحتاج فقط لحوالي ٣ رطلاً من الماء و ١,٥ رطلاً من الغذاء. يمكن أن يعيش الفرد لمدة خمسة أسابيع بدون غذاء ولمدة خمسة أيام بدون ماء ولكنه بدون هواء يستطيع العيش لمدة خمس دقائق فقط. طبيعي فإن كل إنسان يجب أن يتنفس هواء نقي ونظيف. ولكن الغلاف الجوي (Atmosphere) الغير مرئي الذي يحتوى أساساً غازات مختلفة يسمى الهواء (Air)، والذي يكون معرضاً للتلوث بفعل الأنشطة الأدمية كما يحدث في حالة البيئات المائية والأرضية.

قد يبدو الغلاف الجوي من أول وهلة أنه بالحجم الكبير الذي يصعب على الأنشطة الأدمية إحداث أى آثار عليه ذات صفة مستمرة. الأدخنة والغازات التى يتم صرفها فى الهواء يتم تخفيفها مباشرة إلى تركيزات منخفضة جداً بالخلط والانتشار. يبدو وأنه من غير المحتمل أن الأنشطة الأدمية يمكن أن تلوث كل الغلاف الجوي وأنه من غير المحتمل أن هذه الكميات الصغيرة من الملوثات يمكن أن تحدث ضرراً بالصحة العامة أو حتى إحداث تغير فى مناخ الأرض. وإن كان هذا يبدو إلا أن معظم الناس يجب أن تكون معرفتهم أفضل.

الغلاف الجوي واسع ولكنه ليس لا نهائياً. فعند تصور الأرض فى حجم التفاحة فإن عمق الغلاف الجوي سيكون مكافئاً لسمك قشرة التفاحة فقط. لقد أظهرت الخبرة الشخصية عدم الارتياح عند الإحاطة بالأدخنة العادمة الناتجة عن محركات السيارات عند ازدحام الطرق أو عند المرور على مصانع معينة. وذلك المنظر الغير سار والعاذى للضباب الدخاني (Smog) والذي يكون معروفاً لمعظم سكان المدن الصناعية.

لقد أوضحت دراسات الصحة العامة أنه على المدى الطويل يكون المستوى الصحى للذين يعيشون أو يعملون فى المناطق الحضرية الصناعية أقل مقارنة عن هؤلاء الذين يعيشون فى المناطق الريفية، حيث يكون تلوث الهواء أقل حدة بدرجة كبيرة. توجد شواهد علمية كثيرة عن العلاقة الواضحة بين الهواء الملوث وارتفاع أمراض الجهاز التنفسى بما فيها سرطان الرئة.

التحكم فى تلوث الغلاف الجوى وكذلك السيطرة على نوعية الهواء هو من القضايا المعروفة ذات الدلالة فى مجالات تكنولوجيايات هندسة الصحة العامة (Public Health Engineering) وكذلك تكنولوجيايات الهندسة المدينة والبيئة.

الهدف من هذه الدراسة هو لإظهار بعض الحقائق والمبادئ المتعلقة بتلوث الهواء والسيطرة عليه. بعد استعراض مختصر لتاريخ تلوث الهواء، يتم مناقشة العوامل والقياسية، أنواع وتأثيرات ملوثات الهواء، وكذلك تغطية تلوث الهواء داخل المسكن التغير فى المناخ العالمى. كما سيتم مناقشة أخذ عينات الهواء، وتقنيات القياس، قوانين ونظم نوعية الهواء، وأخيراً استراتيجيات التحكم فى تلوث الهواء وكذلك المعدات لكل من المصادر الثابتة والمتحركة.

٢- الخلفية التاريخية :

يمكن أن يقال أن تلوث الهواء بفعل الأنشطة الأدمية يعود إلى اكتشاف النار أو اللهب، حتى فى يومنا هذا فإن معظم ملوثات الهواء تكون من عمليات الاحتراق من المصادر المتحركة أو الثابتة. فمذ ٤٠٠٠ عام قبل الميلاد عند البدء فى طرق الذهب والنحاس وتزجيج الطفلة، حيث حدث تلوث الهواء فى المناطق القريبة من تلك الأنشطة. كما أن هناك قليل من الشك نحو استخدام الفحم كوقود، والذي بدأ حول عام ١٠٠ بعد الميلاد، والذي نتج عنه كميات كبيرة من تلوث الهواء. منذ القرن الرابع عشر منع الملك إدوارد الثانى حرق الفحم فى لندن عند انعقاد البرلمان وذلك بسبب ما ينتجه من دخان. وعند بداية القرن السابع عشر عند تحول الفحم إلى الكوك لاستخدامه فى صهر الحديد زاد تلوث الهواء كثيراً. وفى منتصف القرن السابع عشر حدث بها دخان كثيف مسبباً مشاكل حيث صدر كتاب متضمناً أفكار خفض تلوث الهواء بواسطة مجموعة خاصة كلفت بذلك تم رفعه إلى الملك شارل الثانى وإلى البرلمان. وفى أواخر القرن السابع عشر، واختراع الآلة البخارية وبدء الثورة الصناعية بدأ عهد جديد فى السيطرة على تلوث الهواء. وفى أوائل القرن العشرين بدء عهد جديد من التلوث الواضح للهواء عندما بدأ استخدام السيارات التى تعمل بالجازولين (البنزين) والذي أصبح المصدر الرئيسى للتلوث. ولكن حتى منتصف القرن التاسع عشر لم تكن هناك أعمال ذات صفة الاستمرارية لحماية نوعية الهواء. أى أنه تم بعد ذلك تنشيط عملية المحافظة على تلوث

الهواء، ذلك بسبب تكرار الحالات المميتة بسبب تلوث الهواء، وخاصة تلك في دونارا، بنسلفانيا، وأيضا في لندن في إنجلترا ودادي مويز (Meuse) في بلغاريا.

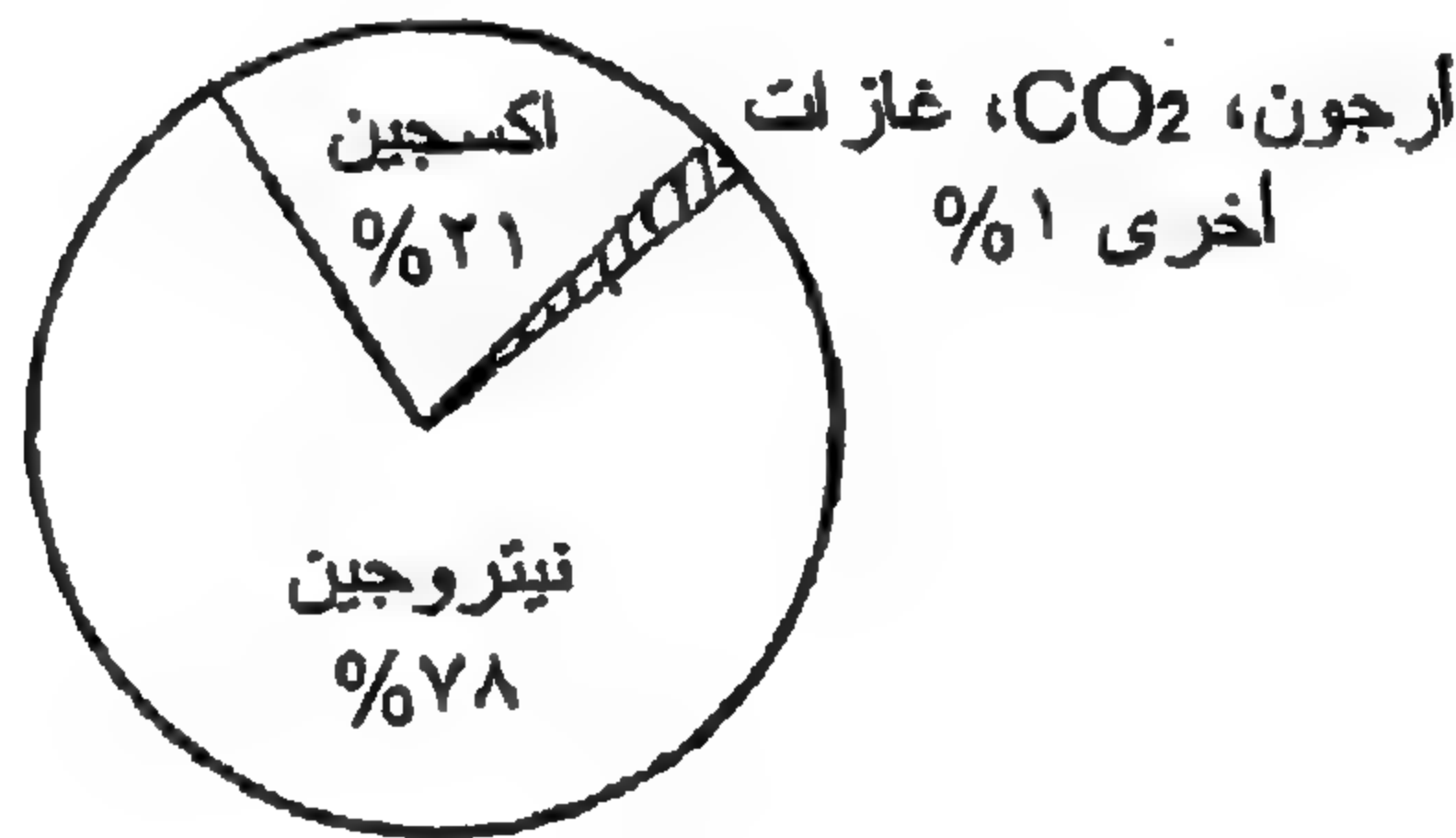
دونارا (Donara) هي مدينة صناعية صغيرة في غرب بنسلفانيا حدث بها احتباس حراري (Temperature Inversion) في نهاية عام ١٩٤٨. هذا الاحتباس حجز ملوثات الهواء والتي معظمها من مصنع الصلب، مصنع الأسلاك، مصنع الطلاء بالزنك، في الوادي حيث تقع المدينة. تعلق ضباب كثيف محمل بالدخان (Smog) في الهواء وظل هكذا لمدة حوالي أسبوع. مع الوقت انتشر هذا الضباب المحتوي على الدخان حيث تأثيراته تسببت في وفاة أكثر من ٢٠ شخص ومرض حوالي ٦٠٠ آخرين. نظرا لأن تعداد هذه المدينة في ذلك الوقت كان صغيرا نسبيا (حوالي ١٤,٠٠٠ نسمة)، فإن معدل الوفيات كان الأعلى من بين ما تم حصره من حالات تلوث الهواء. حدثت وقائع أخرى في لندن مشابهة في عام ١٩٥٢. كذلك بسبب تقلب المناخ (Weather Inversion). حيث استمر الضباب المحمل بالدخان على مستوى سطح الأرض بشكل حاد لمدة زادت عن أسبوع، حيث انخفض مجال الرؤية لعدة أمتار قليلة. معدل الوفيات في لندن زاد بنسبة ثلاث أضعاف أثناء هذا الأسبوع (حيث توفي أكثر من ٤٠٠٠ شخص، ولكن المعدل عاد إلى ما كان عليه عند انقضاء هذا الضباب المحمل بالدخان. حوادث دونارا وكذلك ضباب لندن الدخاني وحوادث أخرى ساعدت على تركيز انتباه الصحة العامة نحو تلوث الهواء، وطورت نظم استراتيجية أخرى وقوانين وتكنولوجيات مطلوبة لحل المشكلة.

٣- العوامل الجوية :

لتفهم الموضوعات المتعلقة بتأثيرات والسيطرة على تلوث الهواء، فإنه يلزم أولا معرفة شيء ما عن المكونات والسلوك الطبيعي للغلاف الجوي نفسه. ما هي مكونات الهواء النقي، وكيف أن حالات المناخ والرصد الجوي تؤثر على خلط وانتشار الملوثات؟. الأرصاد (Meteorology) هو علم التنبؤ بحالات المناخ والغلاف الجوي، متضمنا دراسة كلا من الإطار العام لدورة الغلاف الجوي ذات المستوى الكبير والصغير. أثناء بعض أنواع حالات الجو السيئ، فإن بعض أطر الدوران ذات القياس الصغير كانت عند احتباس الملوثات المنبعثة في حجم محدد من الهواء. من الضروري معرفة كيف تحدث حالة الجو هذه ومعرفة آثارها على متطلبات المحافظة على نظافة الهواء من التلوث.

أ- مكونات الغلاف الجوى : (Composition of the Atmosphere)

الغلاف الجوى هو خليط من غازات مختلف كثيرة، ولكن غالباً ما يتكون من النيتروجين والأكسجين الجزيئى (O_2 , N_2). حوالى ٧٨% من الهواء الجاف يكون من النيتروجين، حوالى ٢١% يكون من الأكسجين. هذه النسب هي بالنسبة للحجم. فمثلاً، فى وعاء يحتوى على ١ متر مكعب أو ١٠٠٠ لتر من الهواء (عند الضغط القياسى) يشمل ٧٨٠ لتر من النيتروجين، ٢١٠ لتر من الأكسجين. كلاً من النيتروجين والأكسجين معاً يشكلان ٩٩% من الغلاف الجوى ١% لباقي من الهواء النظيف هو خليط من غازات أخرى كثيرة. معظم ١% الباقي (حوالى ٠,٩%) هو غاز الأرجون (Argon) الخامل. الباقي يشمل ثانى أكسيد الكربون، الميثان، الهيدروجين، الهيليوم، النيون، الأوزون، وغازات أخرى بكميات صغيرة جداً. الشكل (٦/١) يوضح الكميات النسبية لغازات الغلاف الجوى. واضح أن الجو النقى هو طبيعى خليط من مواد كثيرة مختلفة.



شكل (٦/١)

الكميات النسبية أو تركيزات الغازات فى الهواء يمكن تقديرها بالجزء فى المليون وكذلك كنسبة مئوية. فمثلاً، نظراً لأن ١% = ١٠٠٠٠ جزء فى المليون، فإن مستوى الأكسجين فى الهواء ٢١% يمكن تقديره بـ ٢١٠٠٠ جزء فى المليون وعلى الجانب الآخر فإن تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الجو ٠,٠٣٤% حيث يمكن تقديره بـ ٣٤٠ جزء فى المليون، وكذلك الأوزون الطبيعى يكون تركيزه منخفض حتى ٠,٠٢ جزء فى المليون.

كذلك فإن بخار الماء هو من المكونات الطبيعية فى الغلاف الجوى، ولكن كميته تختلف طبقاً للوقت والمكان. المناخ المحلى عامل رئيسى فى التأثير على كمية بخار الماء أو الرطوبة فى الهواء. فى المناطق ذات الرطوبة العالية يمكن أن يكون محتوى الرطوبة مرتفعاً حتى ٥%. تؤثر الرطوبة على نوعية الهواء بطريقة مختلفة. فمثلاً، مع تكثفه أو

تبخيرها فإن الماء يطلق أو يمتص حرارة والتي تؤثر على ثبات الجو والإطار العام لدوران الهواء. كذلك فإنه عند تكثيف الرطوبة التي في الجو فإنه يتكون الضباب؛ يحدث الضباب غالباً في المناطق الحضرية بسبب زيادة نسبة الجسيمات العالقة والتي تعمل كنويات لتكوين حبيبات الضباب. يساهم الضباب في حالات تلوث خطيرة (فمثلاً، في دونارا) نظراً لأن حبيبات الضباب تساعد في تحويل ثاني أكسيد الكبريت إلى حامض الكبريتيك. كذلك فإن الضباب يحجز الطاقة الحرارية من الشمس ويطيل دورات الدوران للجو والتي تعمل على احتجاز الملوثات.

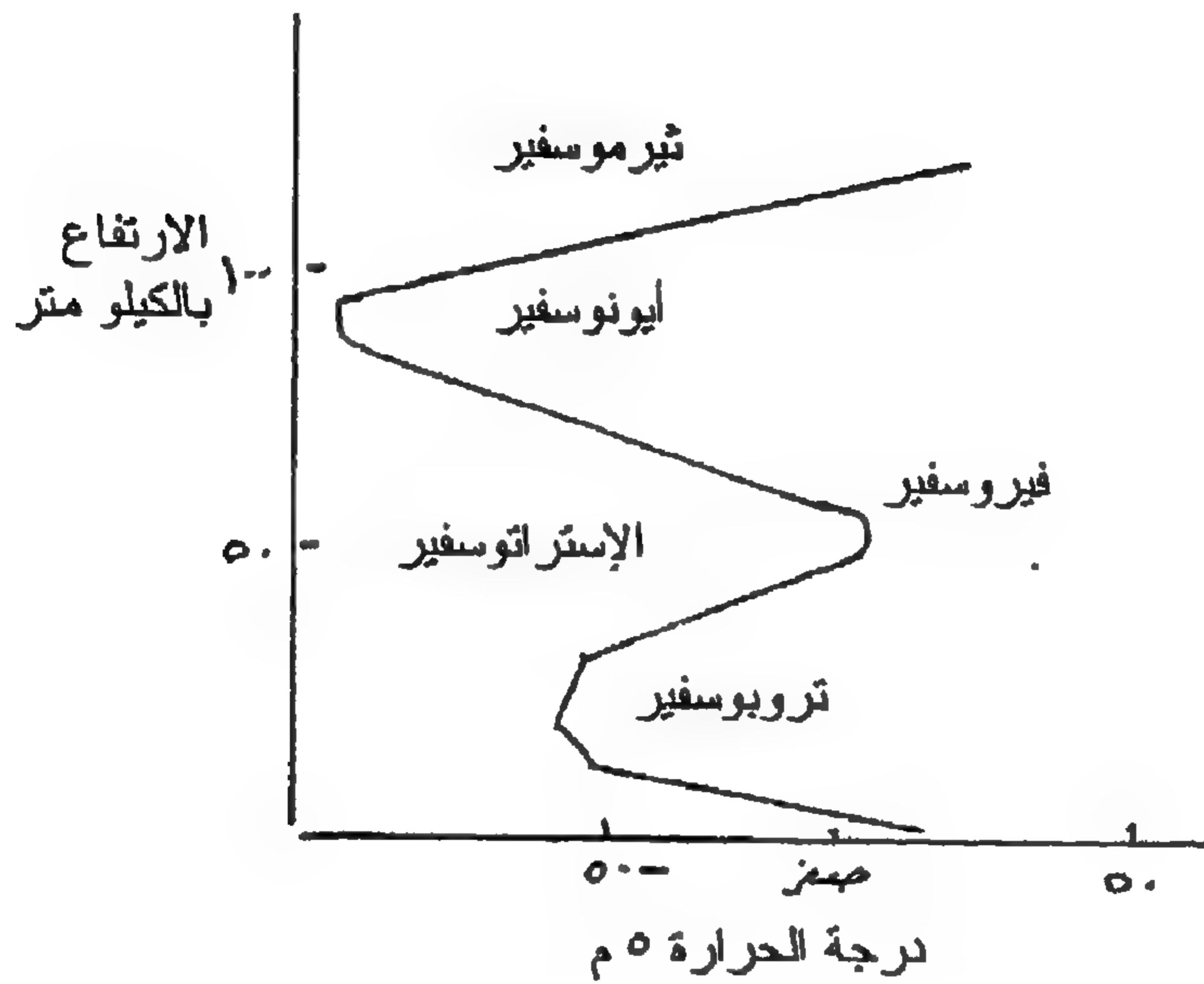
طبقات الغلاف الجوي : (Atmospheric Layers)

الغلاف الجوي يمتد إلى أعلى بحوالى ١٦٠ كيلو متراً (١٠٠ ميل) فوق سطح الأرض. ولكن خليط الغازات الذي يتم مناقشته يشير فقط إلى الغلاف الجوي السطحي التروبوسفير (Troposphere) حيث تتناقص درجة الحرارة بالارتفاع وهو أقرب طبقة لسطح الأرض. التروبوسفير الذي هو بعمق حوالى ١٢ كيلو متراً (٨ ميل) يحتوى على حوالى ٩٥% من إجمالى كتلة الهواء. فى هذه الطبقة الرقيقة من الهواء يوجد الأكسجين الذى تعتمد عليه الحياة، وتتكون السحب، ويحدث الإطار العام للمناخ، وتحدث معظم حالات تلوث الهواء. تزداد كثافة الهواء بدرجة كبيرة على سطح الأرض، وأنه لهذا السبب تكون معظم كتلة الهواء فى الطبقة السفلية. قشرة التفاحة التى تم ذكرها تشير إلى هذه الطبقة التى تعين على الحياة، فوق التروبوسفير لا يوجد الأكسجين الكافى الذى يساعد على الحياة.

طبقة الهواء فوق التروبوسفير تسمى الاستراتوسفير (Stratosphere) وهى طبقة الجو على ارتفاع بين ١٥ كيلو متراً و ٦٠ كيلو متراً فوق الغلاف السفلى التروبوسفير وأسفل الغلاف الأوسط الميزوسفير (Miosphere). وهذه طبقة ثابتة (بالنسبة لإطار دوران الهواء) وهى تمتد إلى متوسط ارتفاع ٥٠ كيلو متراً (٣٠ ميل) من سطح الأرض. وهى أكثر عمقاً من التروبوسفير، الاستراتوسفير تحتوى فقط على جزء صغير من إجمالى كتلة الهواء، ذلك بسبب انخفاض كثافة هوائها. ولكنها تحتوى على كثير من الأوزون الطبيعى (O_3) أكثر من التروبوسفير.

كما سيتم مناقشته فيما بعد فإن منطقة الاستراتوسفير هذه تلعب دوراً حاسماً كحاجز لإشعاعات الشمس الفوق بنفسجية الضارة. طبقات الغلاف الجوي الموجودة فوق

الاستراتوسفير تشمل الميزوسفير والأيونوسفير (Mesosphere , Ionosphere)،
 التيرموسفير (thermosphere). تلك الأجزاء من الغلاف الجوى لا تتأثر بتلوث الهواء.
 الخواص الطبيعية الأساسية للتمييز بين أحد طبقات الغلاف الجوى والى تليها هو
 التدرج فى درجة الحرارة، أى، التغير التدريجى فى درجة الهواء مع الارتفاع. فمثلاً،
 تنخفض درجة حرارة الهواء مع زيادة الارتفاع فى التروبوسفير، ولكنها تزداد مع
 الارتفاع فى الاستراتوسفير وهذا موضح فى الشكل (٦/٢). التغيرات الطبيعية التى تحدث
 فى التدرج فى درجات الحرارة للتروبوسفير تسبب نماذج معينة للجو ذات التأثير المباشر
 على نوعية الهواء.



شكل (٦/٢) فى الغلاف الجوى، تنخفض درجة الحرارة طبيعياً مع زيادة

المسافة من سطح الأرض فى الاستراتوسفير تزداد درجة الحرارة مع زيادة المسافة أو الارتفاع.

تأثيرات المناخ : (Effects of Weather)

نوعية الهواء فى مكان ما يمكن أن تتغير كثيراً مع الوقت، ولكن رغم هذا فإن معدل
 انبعاث الملوثات يظل ثابتاً نسبياً. ذلك لأن ملوثات الهواء تختلط وتنتشر ويتم تخفيفها فى
 التروبوسفير بحركة الكتل الهوائية، سواء الأفقية أو الرأسية. تحركات الهواء وبالتالى
 نوعية الهواء تعتمد إلى حد كبير على حالات الجو المحلية والإقليمية. المعلومات عن
 أنماط الدوران الأفقى والرأسى له أهمية بالنسبة للأعمال المساحية الخاصة بتلوث الهواء،

اختيار مكان مصانع جديدة، تعيين أقصى معدلات مسموح بها للانبعاثات الملوثة للهواء وتصميم كل المداخل.

التشتت الأفقى للملوثات :

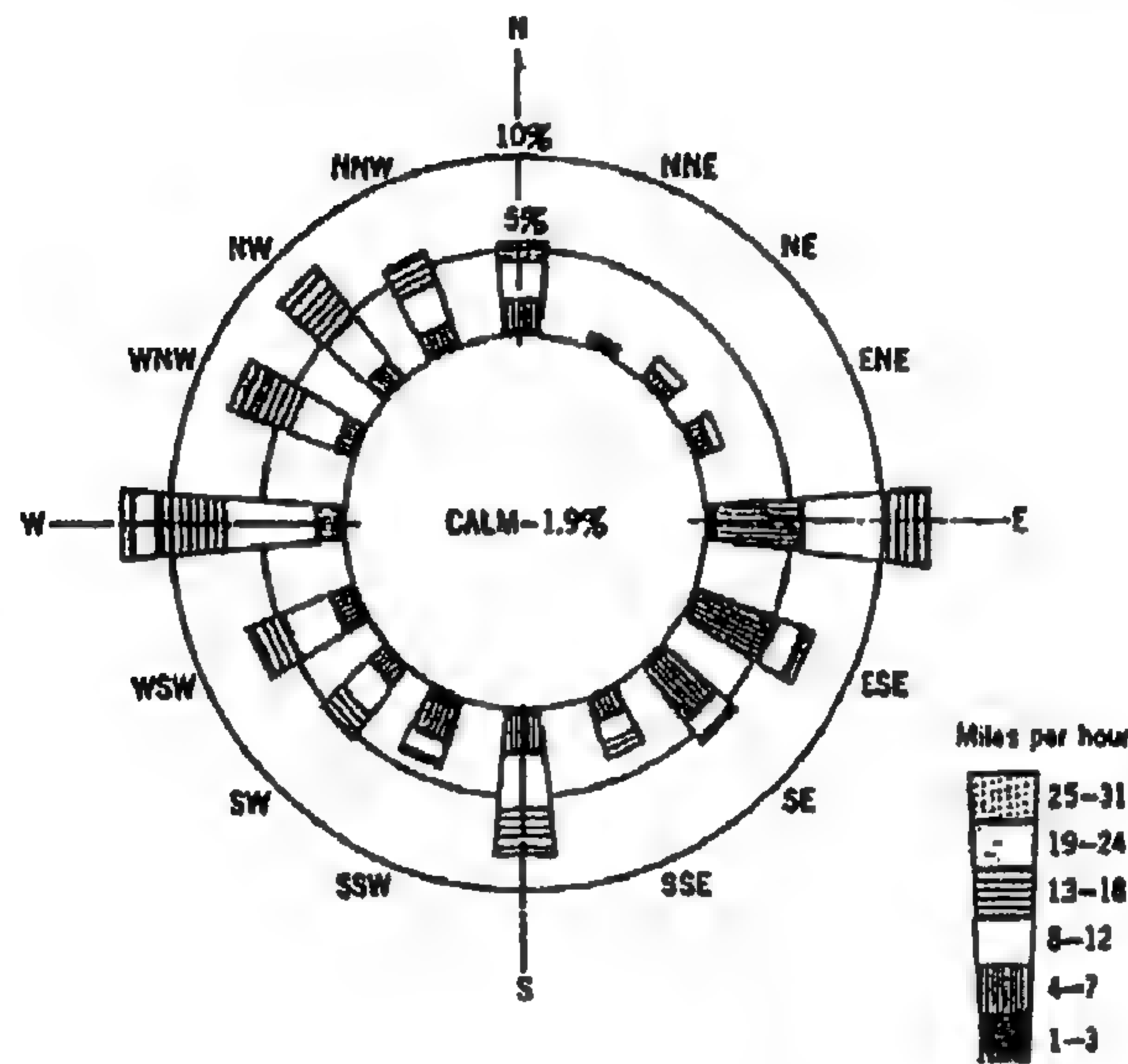
التشتت الأفقى أو الانتشار لملوثات الهواء يعتمد على سرعة الرياح واتجاهه. يقل تركيز ملوثات الهواء مع زيادة سرعة الرياح ذلك لأنه مع انبعاث الملوثات من المصدر فإنها تتفصل وتنتشر بسرعة بواسطة حركة الهواء السريع. المعلومات عن سرعة واتجاه الرياح السائد فى أماكن معينة تمكن من اختيار أماكن المصانع أو محطات الطاقة وذلك لخفض تأثيرات تلوث الهواء. تعيين مكان تلك الأنشطة تحت الرياح للمناطق الأهلية بالسكان يكون مفضلاً عن المكان فوق الرياح. بيانات سرعة الرياح التى يتم توقيها على مخطط المسمى قرص الرياح (Wind Rose)، يعطى صورة عن السرعة والاتجاه من حيث يمكن أن يأتى الرياح، المخطط يوفر معلومات عن الرياح السائدة. نموذج لقرص الرياح موضح فى الشكل (٦/٣).

تحدث الرياح بسبب التأثيرات المشتركة للتدرجات فى درجة الحرارة ودوران الأرض. الهواء الساخن القريب من مدار السرطان (Equator) يرتفع ويتحرك نحو القطبين بينما الاحتكاك والقوى الناتجة عن دوران الأرض تعكس حركة الهواء، فى الاتجاه الشرقى فى نصف الكرة الشمالى وفى الاتجاه الغربى فى نصف الكرة الجنوبى. العوامل الهامة ذات التأثير على شكل الدوران تشمل الطبوغرافيه، التغيرات اليومية والموسمية فى سخونة السطح، القرب من المسطحات الكبيرة المائية ومن الجبال، والغطاء من السحب. نظراً لأن التربة والصخور معدل تسخينها وبرودتها أسرع من الماء، فإن الرياح القريبة من خطوط الساحل تتجه نحو الماء عند الليل وعند اليابسة أثناء النهار. فى المناطق الحضرية حيث الصلب، الخرسانى، الحرارية تمتص وتحتفظ بالحرارة، تحتضن المدينة جزيرة حرارة (Heat Island) أثناء الليل، مع الدوران المحتجز حيث لا يمكن هروب الملوثات منه بسرعة.

التشتت الرأسى للملوثات :

بالإضافة إلى نظم الرياح والتشتت الأفقى فإن الحركة الرأسية للهواء هامة جداً بالنسبة لنوعية الهواء. الخلط الرأسى للهواء وتشتت الملوثات يعتمد على نوع الثبات الجوى السائد فى أى وقت محدد. يعتبر الجو ثابتاً عندما تكون حركة الكتل الهوائية الرأسية قليلة أولاً تحدث ولذلك فإن الخلط والتشتت للملوثات فى الاتجاه الرأسى يكون

قليلاً أو لا يحدث. ملوثات الهواء تميل إلى التراكم قريباً من سطح الأرض تحت ظروف الثبات وقد تحدث ظروف تلوث حادة. على الجانب الآخر فإن الجو الغير مستقر هو الهواء الذى يتحرك بشكل طبيعى فى الاتجاه الرأسى، بما يزيد الخلط والتشتت للملوثات. بالنسبة لنوعية الهواء المحلية أو الإقليمية فإن ظروف عدم الاستقرار الجوى تكون مفضلة عن حالة الاستقرار الجوى.



شكل (٦/٣) مثال لقرص الرياح

أوضاع الأسهم توضح اتجاه الرياح، إجمالى الطول يوضح نسبة الوقت، لفترة عمل التقرير، حيث كان الرياح يهب من ذلك الاتجاه. القطاعات الممهشرة توضح نسبة الوقت حيث كان الرياح يهب عند السرعة الموضحة.

الاستقرار الجوى يتوقف على معدل التغير فى درجة حرارة الهواء مع الارتفاع أى على التدرج فى درجة الحرارة والتي يمكن أن تسود فى توقيت معين ومكان معين. طبيعى، فإن درجة حرارة الهواء فى التروبوسفير تنخفض مع زيادة الارتفاع شكل (٦/٢). ولكن معدل الانخفاض فى درجة حرارة الهواء والذي يسمى معدل التدرج البيئى Environmental Lapserate، له أهمية حاسمة بالنسبة للاستقرار الجوى. لفهم العلاقة بين معدلات التدرج (الانخفاض)، الاستقرار، الخلط الرأسى فإنه يلزم مناقشته باختصار عن طبيعة الجو.

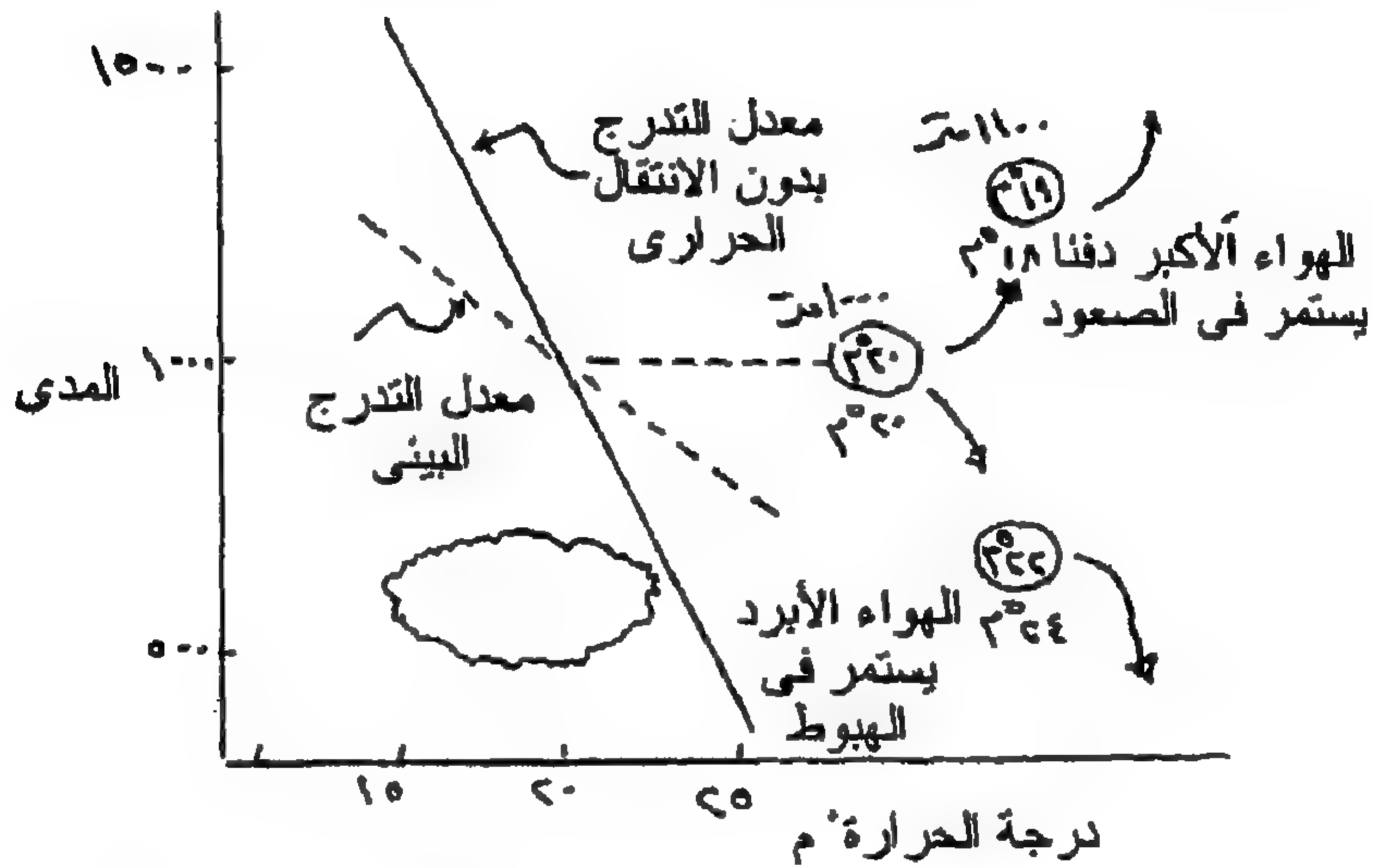
يقل الضغط الجوي مع زيادة الارتفاع فوق سطح الأرض. مع ارتفاع حجم أو كتلة من الهواء، فإنها تمتد وتبرد، شريطة عدم إضافة أو سلب طاقة حرارية. العملية الطبيعية التي لا يحدث فيها انتقال حراري تسمى عملية ثابتة الحرارة أي التي تتم بدون اكتساب للحرارة أو خروج للحرارة (Adiabatic Process). نظراً لأن كتلة الهواء التي ليست على اتصال مباشر مع الأرض تكون معزولة جيداً عما يحيط بها، فإنه يمكن افتراض أن التمدد الذي يحدث طبيعياً (أو الانضغاط) للكتل الهوائية مع حركتها إلى أعلى أنه بدون فقد أو اكتساب حرارة.

باستخدام القانون الأول للديناميكا الحرارية فإنه يمكن حساب المعدل النظري للحيود الجاف في عملية الثبات الحراري (Dry adiabatic lapse rate) ليكون 1°C لكل ١٠٠ متر (5.4°F فهرنهايت لكل ١٠٠٠ قدم). هذا التدرج الحراري يكون مستقلاً عن الحيود السائد في درجة حرارة الجو في أي وقت. بمعنى آخر، بصرف النظر عن درجة حرارة الجو الحقيقية، فإن الكتلة الهوائية المتحركة سوف تبرد باستمرار درجة مئوية واحدة (1°C) مع كل ١٠٠ متر ارتفاع في الجو وسوف تسخن بدرجة حرارة مئوية واحدة مع كل هبوط قيمته ١٠٠ متر. (معدل التغير الجاف في الثبات الحراري يتم حسابه على أساس فرضية عدم وجود بخار ماء في الجو. الماء يكون موجوداً في الجو إلى حد ما، حيث يمتص أو يبعث بالحرارة مع التبخر أو التكثيف. مع ارتفاع الهواء، يحدث تكثف، بما ينتج عنه معدل تبريد أبطأ (تدرج حراري أقل) عن حالة الهواء الجاف. متوسط معدل الحيود الرطب للثبات الحراري هو حوالي 3.5°F فهرنهايت لكل ١٠٠٠ قدم). معدل الحيود في الثبات الحراري عادة يختلف عن معدل الحيود البيئي (Environmental Lapse rate) بسبب عوامل مثل الظواهر الجغرافية، الرياح، ضوء الشمس.

عندما يزيد معدل الحيود البيئي عن معدل حيود الثبات الحراري، فإن درجة حرارة الهواء الحقيقية تنخفض بأكثر من 1°C لكل ١٠٠ متر. يكون الجو غير مستقر عند حدوث ذلك، ويحدث خلط رأسي للكتل الهوائية. ذلك لأن الحركة الرأسية للكتلة الهوائية ستبرد (بدون فقد أو اكتساب حرارة Adiabatically) بمعدل أبطأ عن الهواء المحيط بها. نظراً لأن كتلة الهواء تصبح عندئذ أكثر دفئاً (وأخف) عما يحيطها، فإنها تستمر في الصعود لأعلى بقوة الطفو. على العكس، الكتلة الهوائية التي تتحرك لأسفل سوف تصبح أكثر برودة (وأكثر كثافة) عما يحيط بها وسوف تستمر في الهبوط بفعل تأثير الجاذبية.

الفصل السادس

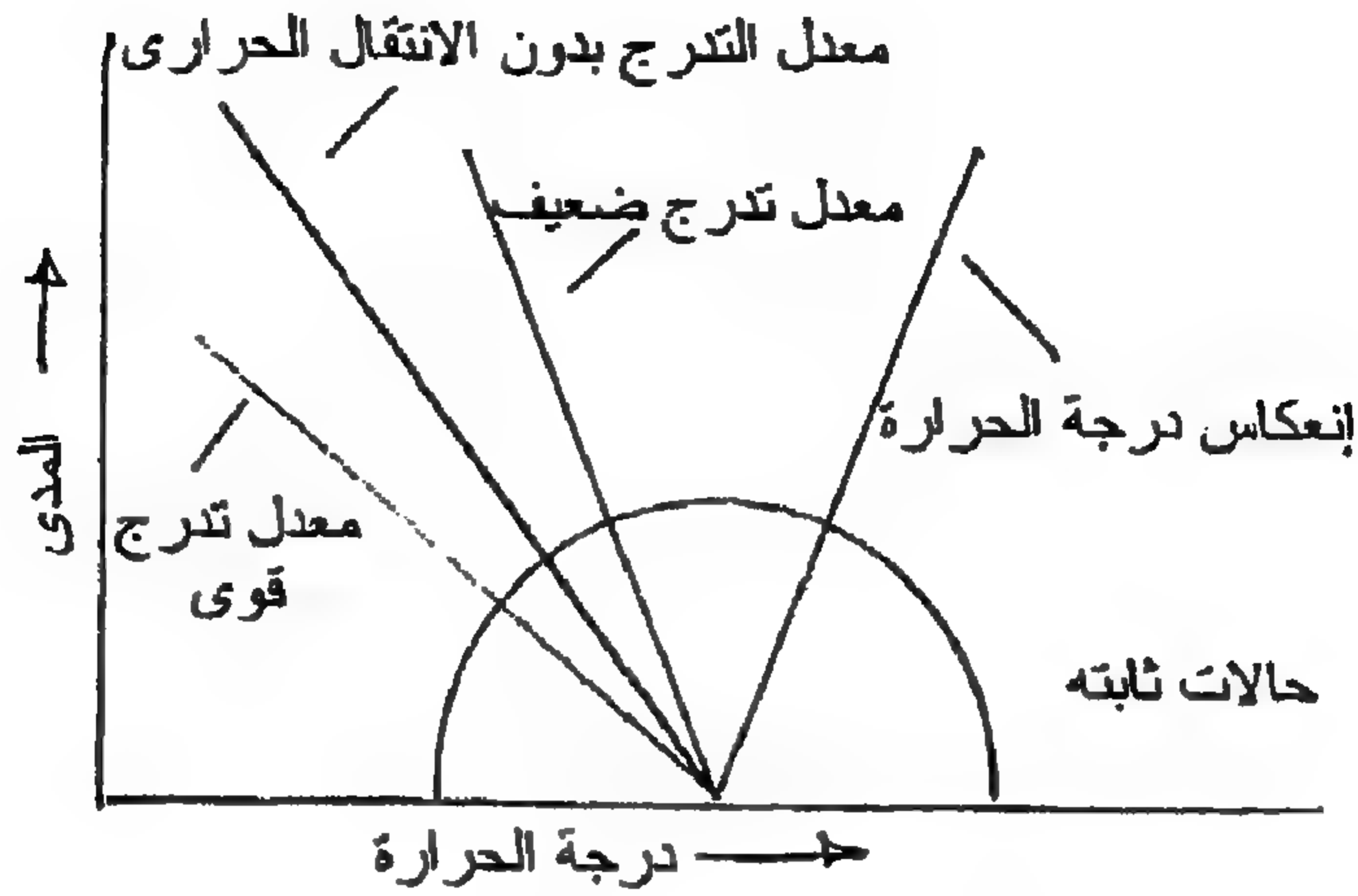
فمثلاً، كتلة هوائية على ارتفاع ١٠٠٠ متر. سيكون لها نفس الضغط ودرجة الحرارة مثل الهواء المحيط بها، مثلاً ٢٠°م. بفرض أن معدل الحيود البيئي في وقت ما هو ٢°م لكل ١٠٠ متر. إذا ارتفعت الكتلة إلى ارتفاع ١١٠٠ متر، فإن درجة حرارتها سوف تنخفض إلى ١٩°م، بينما الهواء المحيط ستكون درجة حرارته ١٨°م. نظراً لأن الكتلة أدفا. عن الهواء المحيط بها، فإنها سوف تستمر في الصعود، كما لو كانت بالون هواء ساخن. هذا موضح في الشكل (٦/٤). إذا تحركت الكتلة إلى ارتفاع منخفض بفرض ٨٠٠ متر، فإن درجة حرارتها سوف تصبح ٢٢°م بينما درجة حرارة الهواء المحيط بها تكون ٢٤°م، وكتلة الهواء الأبرد (والأكثر كثافة) سوف تستمر في الهبوط.



شكل (٦/٤) توضيح لحالات عدم الاستقرار الجوي، عندما يكون معدل التدرج البيئي (مثلاً ٢°م لكل ١٠٠ متر) يزيد عن معدل التدرج بدون التبادل الحراري. في هذه الحالة، فإن قوى الطفو تحافظ على تحرك الحزمة الهوائية في الاتجاه الراسي.

معدلات الحيود البيئي تقسم لتكون إما قوية أو ضعيفة (Superadiabatic or Subadiabatic) كما هو موضح في الشكل (٦/٥). معدل الحيود القوي يصاحبه جو غير مستقر، بينما معدل الحيود الضعيف يصاحبه جو مستقر. معدل الحيود الذي يتصف بزيادة في درجة حرارة الهواء الحقيقية مع زيادة الارتفاع يسمى الانعكاس أو الانقلاب في درجة الحرارة (Temperature Inversion) وينتج عنه جو غير مستقر بشدة. الانقلاب الحراري الذي يمنع الخلط الراسي والتشتت للملوثات، هو عادة السبب الرئيسي لحالات تلوث الهواء، مثل تلك في لندن وفي دوتارا. في المناطق الحضرية فإن نوعية الهواء سوف

تتخفض بسرعة بسبب الركود الناتج عن الانقلاب، لحين تغير حالات المناخ وعودة معدل الحيود.



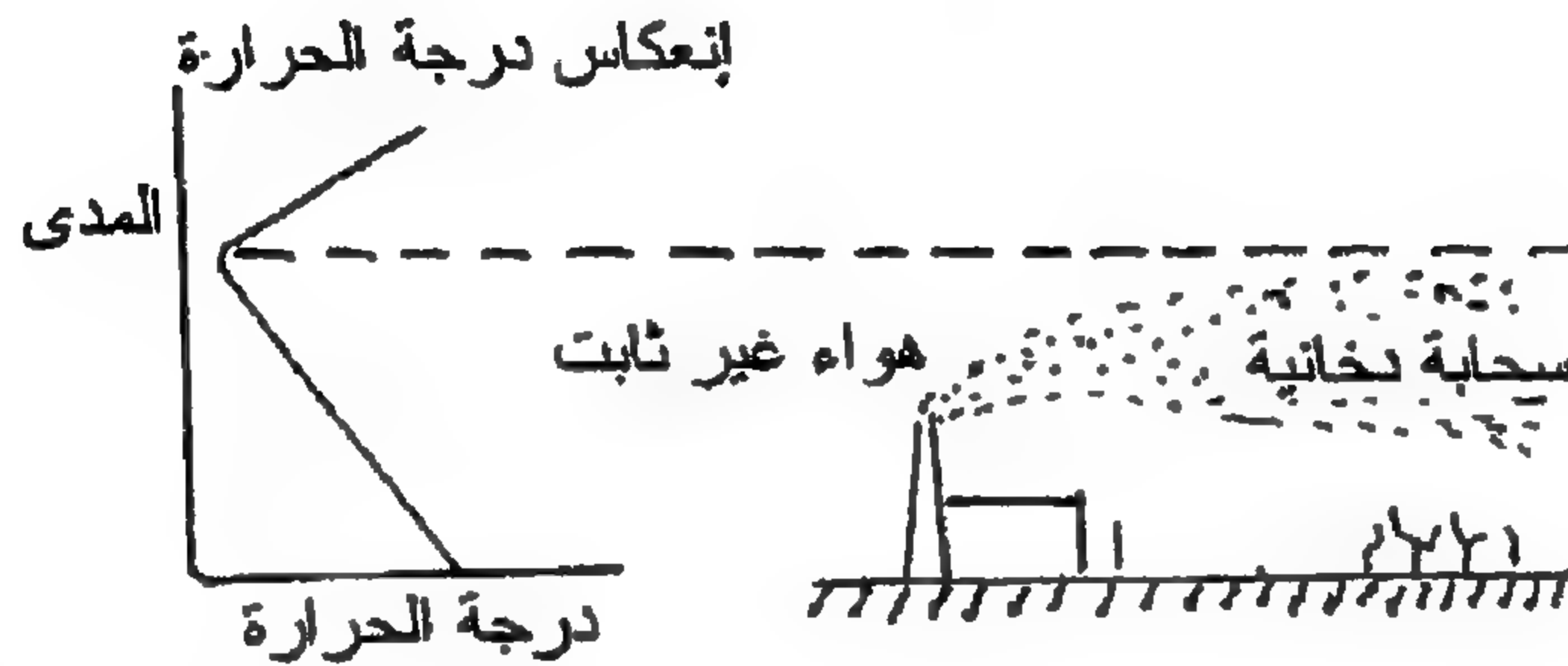
شكل (٦/٥) درجة الحرارة التى تفصل الحالات المناخية الثابتة من الحالات الغير ثابتة هى معدل التدرج بدون الانتقال الحرارى. الهواء شديد الثبات أثناء التحول، عند زيادة درجة الحرارة مع الارتفاع فوق الأرض أو المدى

القوى (Super adiabatic)

الانقلاب الحرارى يمكن أن يكون بسبب عديد من حالات الظواهر والحالات الجوية كما يمكن أن يحدث عند أى مكان، ولكن حالات جغرافية معينة يمكن أن تزيد معدل الحدوث وفترة الاستمرار. يمكن أن يكون الانقلاب حادا بالتحديد كما فى حالة المجتمع الذى يعيش فى الوادى، الذى يعمل كحوض حجز أو هبوط للكتل الهوائية الأكثر برودة وأكثر كثافة القريبة من الأرض. الجبال المحيطة بالوادى تعمل على إعاقه كثير من حركة الهواء الأفقية، بما يضيف إلى مشكلة الركود.

ثلاثة أنواع من الانقلاب الحرارى كل منهما يصاحبه نموذج معين من المناخ. وهى الانقلابات الأمامية (Frontal Inversions)، الانقلابات الهابطة (Subsidence Inversions) والانقلابات الإشعاعية (Radiation Inversion). الانقلابات الأمامية تحدث عموماً عند ارتفاع عالى نسبياً عندما تسبق كتلة الهواء الساخن كتلة الهواء البارد، ذلك ليس له أهمية بالنسبة لنوعية الهواء تحديداً. الانقلابات الهابطة ذات أهمية كبيرة. رغم أنها تحدث كذلك عند ارتفاع عالى نسبياً، فإن الانقلابات الهابطة يمكن أن تقاوم لعدة أيام أو أسابيع وخاصة فى أشهر الصيف. هذا الانقلاب كما يظهر من اسمه، عندما تهبط كتلة

كبيرة من الهواء الدافئ على تجمع سكانى. الانقلاب الحقيقى قد يحدث عند ارتفاع حوالى ٣٠٠ متر، كمثال، حيث يكون معدل الحيود أسفلها يكون عالى الثبات الحرارى (Superadiabatic). هذا النوع من الانقلاب أو الانعكاس فى درجة الحرارة يكون الغطاء الذى يحتجز الملوثات ومنع حدوث الخلط الرأسى كما هو موضح فى الشكل (٦/٦). السحابة من الدخان سيتم توقفها عن الصعود فجأة عند وصولها إلى ارتفاع الانقلاب الحرارى. إذا كان معدل الحيود المحلى أسفل الانقلاب عالى الثبات الحرارى، فإنه يمكن أن تحدث حالة الدخان قريباً من مستوى الأرض بسبب تأثيرات الخلط القوى ينتج الدخان فى شكل تلوث شديد التركيز على مستوى الأرض.



شكل (٦/٦) عند بدء التحول الحرارى فوق الأرض بسبب الظروف المناخية المحلية،

فإنه يعمل كغطاء الذى يمنع الخلط العمودى ويحتجز الملوثات أسفلها

الانقلابات الإشعاعية تحدث عند ارتفاع منخفض وتكون بسبب سرعة البرودة للأرض بسبب الإشعاع، غالباً فى ليالى الشتاء الصافية. درجة حرارة الهواء الملتصق بالأرض تنخفض كذلك مسببة الانقلاب. ملوثات الهواء المنبعثة أثناء الليل يتم احتجازها ولا تستطيع الانتشار لحين اليوم التالى فيما بعد، وذلك عندما تصبح الأرض دافئة بما يكفى لكسر هذا الانقلاب. حالة السحابة الدخانية عادية أثناء الانقلاب الإشعاعى، لحسن الحظ هذه الانقلابات لا تستمر طويلاً، رغم أنها متكررة الحدوث.

٣- الأنواع، المصادر، والتأثيرات :

تلوث الهواء يمكن تعريفه ببساطة بوجود مواد معينة فى الهواء بالتركيز العالى ولمدة طويلة بما يسبب تأثيرات مزعجة. مواد معينة قد تكون أى غاز، سائل، أو صلبة، رغم أن مواد معينة تحديداً تعتبر ملوثات رئيسية بسبب المعدل العالى للإنبعاثات أو بسبب التأثيرات الضارة والغير مرغوب فيها. المدة الطويلة الكافية للاستمرار يمكن أن تكون

فى أى مكان لعدة ساعات أو أيام أو أسابيع، على المستوى العالمى (Global Scale)، يكون المرتبط به هو الاستمرار لشهور أو لسنتين. قبل اعتبار هذه المواد مكونات رئيسية، من المفيد أولاً اعتبار بعض الفروق بين الأنواع المختلفة لملوثات الهواء.

التعريف الضمنى هو أن تلوث الهواء يكون بفعل الإنسان، أى بسبب نشاطات الإنسان. ولكن تلوث الهواء قد يكون نتيجة أسباب طبيعية. فى الواقع، فى وقت معين يمكن أن يكون التلوث من المصادر الطبيعية أكثر حدة ولمدة أطول عن تلوث الهواء بفعل الأنشطة الأدمية. فمثلاً، الانفجار البركانى فى عام ١٩٩١ فى الفلبين نتج عنه كميات كبيرة من الغبار ومن الغازات فى الجو فى فترة زمنية قصيرة نسبياً. الملوثات من هذا الانفجار البركانى وصلت إلى الغلاف الجوى العلوى حيث عملت كعاكس لضوء الشمس، بما نتج عنه خفض فى درجة حرارة الكرة الأرضية قليلاً لعدة سنوات قليلة. بالإضافة إلى الانبعاثات البركانية، فإن الملوثات الأخرى الطبيعية للهواء تشمل الأدخنة والغازات الناتجة عن حريق الغابات، الأتربة بفعل الرياح من الصحارى، رش الملح للمناطق القريبة من البحر، حبيبات اللقاح، ومواد طبيعية أخرى. من الواضح أنه من الصعب عمل شئ للحد من هذه المواد التى تحدث طبيعياً أو للسيطرة عليها، إلا أنه توجد أعمال معينة التى يمكن بها التخفيف من آثارها الضارة.

اختلافات أخرى عامة بين ملوثات الهواء تتضمن الفرق بين الملوثات الأولية والملوثات الثانوية. الملوثات الأولية هى التى تنبعث مباشرة نحو الهواء من مصدر معين مثل مدخنة محطة توليد الطاقة. الملوثات الثانوية هى التى لا تنبعث مباشرة نحو الجو ولكنها تتكون فى الجو بواسطة تفاعلات كيميائية معقدة بين الملوثات الأولية وضوء الشمس. مصدر ملوثات الهواء الأولية هو إما أن يكون متحرك (مثل السيارة) أو ثابت (مثل محطة توليد الطاقة بالفحم). الفرق بين المصادر المتحركة والثابتة للملوثات هام بسبب التقنيات المختلفة للمعالجة والحد من آثار كل نوع، وكذلك اختلاف أنواع الملوثات التى تنبعث منها.

تلوث الهواء يحدث داخل المبنى وكذلك خارج المبنى.

معايير ملوثات الهواء : (Criteria Air Pollutants)

الملوثات الخمسة الأولية تشمل الغازات (CO , Na_2 , SO_2) الجسيمات الصغيرة جداً الصلبة أو السائلة التى تقل عن ١٠ ميكرون ($10mm$) وجسيمات الرصاص. باستثناء الرصاص، فإن الملوثات الأولية تنبعث فى المدن الصناعية بمعدلات مرتفعة جداً، عادة

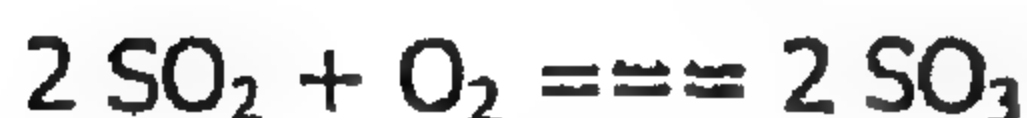
تقاس بملايين الأطنان في كل عام. الأوزون (O_3) هو الملوث الثنائي. رغم أن الأوزون القريب من الأرض يعتبر ملوثاً ضاراً، ولكنه في الغلاف الجوي يساعد في حجز الإشعاعات فوق بنفسجية الضارة. وسيتم مناقشة ذلك فيما بعد.

ثاني أكسيد الكبريت (SO_2):

وقود حفري معين وخاصة الفحم (Coal) قد يحتوي على عنصر الكبريت. عند حرق مثل هذا الوقود فإن الكبريت يحترق كذلك أو يتأكسد. التفاعل الكيماوي يمكن وصفه بالمعادلة التالية.



ثاني أكسيد الكبريت عبارة عن غاز ليس له لون وله رائحة حادة وصدمية (Choking). وهو ملوث أولى لأنه ينبعث مباشرة في شكل SO_2 . عادة معظم الناس ليس لديهم المعرفة أن الغاز له وزن كبير، ولكن عندما تكون الأحجام كبيرة فإن الوزن الكلي يمكن أن يكون ضخماً. تقريباً يتم صرف حوالي ٢٥ مليون طن من SO_2 في الجو كل عام في أمريكا. أكثر من ٨٠% من هذه الانبعاثات يكون مصدرها حرق الوقود الحفري حيث معظمه من محطات توليد الطاقة الكهربائية. جزء صغير فقط يأتي من المصادر المتحركة. المصادر الأخرى لانبعاث SO_2 هي من تكرير البترول، صهر النحاس، وصناعة الأسمنت. منذ عام ١٩٧٠ تم خفض معظم انبعاثات SO_2 بدرجة كبيرة نتيجة إزالة الكبريت من الوقود، غسيل الغازات العادمة.. الخ. في وجود الأكسجين وبخار الماء وضوء الشمس يمكن أن يساهم SO_2 في تفاعلات كيماوية أخرى. فهو يتفاعل مع الأكسجين ليكون SO_2 ، والذي يتفاعل عندئذ مع بخار الماء ليكون ضباباً من حامض الكبريتيك. التفاعلات الكيماوية كما في المعادلات التالية.



ضباب حامض الكبريتيك هو ملوث ثانوي ذلك لأنه لا ينبعث مباشرة ولكنه يتكون في الجو. وهو مكون للمطر الحمضي، أحد مشاكل تلوث الهواء الإقليمية الهامة (سيناقش في البند التالي). جزيئات حامض الكبريتيك قد تتكشف كذلك على الجسيمات الموجودة في الجو، وإيروسولات الكبريتات (SO_4^{2-}) عادة تجمع جزء كبير من جسيمات التلوث في

الجو. تلوث الكبريت يصل إلى الأرض بالترسيب الرطب (الذي هو المطر الحامضي) أو في الشكل الجاف بدون ترسيب.

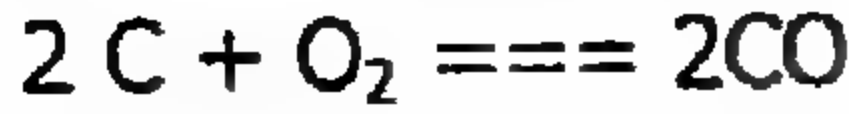
أكاسيد النيتروجين :

توجد أنواع كثيرة من أكاسيد النيتروجين (يرمز لها جميعاً بالرمز N_x)، ولكن واحداً له أهمية كبيرة هو ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2). معظم الانبعاثات تكون أولاً في شكل أكسيد النيتريك (NO) والذي هو غير ضار عند التركيزات الموجودة عادة في الجو. ولكن (NO) يتأكسد بسرعة إلى (NO_2) والذي في وجود ضوء الشمس يمكن أن يتفاعل مع الهيدروكربونات لتكوين سحابة محتوية على الدخان تسمى (Photochemical Smog). هذه السحابة الدخانية (Smog) ضارة. كذلك فإن NO_2 يتفاعل مع شق الأيدروكسيد (OH^\cdot) لتكوين حامض النيتريك (HNO_3)، والذي يساهم في مشكلة المطر الحامضي. رغم أن (NO) لا لون له، فإن (NO_2) عبارة عن غاز خائف، يسبب الحساسية ويكون سحابة دخانية ذات لون أحمر - بني.

أكثر من ٢٠ مليون طن من أكاسيد النيتروجين تنبعث كل عام في أمريكا. المصدر الكبير هو من أكسدة مركبات النيتروجين أثناء احتراق أنواع من الوقود الجوي مثل الفحم والجازولين. أكاسيد النيتروجين تتكون كذلك عندما تكون درجة الحرارة مرتفعة بما تمكن من أكسدة النيتروجين الجزيئي في هواء الاحتراق. المصادر الثابتة هي من أكبر مصادر انبعاث أكاسيد النيتروجين، رغم أن المصادر المتحركة هي هامة كذلك. (من التقنيات التي تدعو إلى السخرية أنه نحو تطوير عمل محركات الاحتراق الداخلي بما يحقق الحد من انبعاثات أول أكسيد الكربون مثل زيادة الإمداد بالهواء ورفع درجة حرارة الاحتراق فإن ذلك أدى إلى زيادة حدة مشكلة (NO_x)).

أول أكسيد الكربون :

أثناء الحرق الكامل للوقود الحفري، فإن ذرات الكربون في الوقود تتحد مع جزيئات الأكسجين لتكوين ثاني أكسيد الكربون (CO_2). ولكن عملية الاحتراق نادراً ما تكون تامة. فقد يحدث احتراق غير كامل للوقود عندما يكون الإمداد بالأكسجين غير كافي، عندما تكون درجة حرارة الاحتراق منخفضة جداً، أو عندما يكون زمن المكثف في غرفة الاحتراق قصير جداً. أول أكسيد الكربون (CO)، ناتج الاحتراق الغير كامل، هو من أكثر الملوثات وفرة. المعادلة الكيميائية لوصف تكوينه هي كالآتي :



أول أكسيد الكربون لا يمكن رؤيته تماماً، ولا لون له ولا مذاق ولا رائحة. (التأثيرات الضارة لهذا الغاز الغير مرئي سيتم مناقشتها لاحقاً). حوالي ٧٠% من انبعاثات أول أكسيد الكربون يكون مصدرها السيارات في المدن. مستويات (CO) والتي تتراوح ما بين ٥ إلى ٥٠ جزء في المليون في هواء المدينة، قد تصل أحياناً إلى ١٠٠ جزء في المليون في الطرق السريعة المزدحمة. (دخان السجائر يحتوى على أكثر من ٤٠٠ جزء في المليون من أول أكسيد الكربون). جزء كبير من إجمالي انبعاثات (CO) يأتي من نظم التدفئة المنزلية ومن عمليات تصنيع معينة. محطات توليد الطاقة مصممة وتعمل بطريقة تقلل من الاحتراق الغير كامل لذلك فإنه لا ينبعث منها كثيراً من (CO) .

الجسيمات الصغيرة (Particulates Matter)

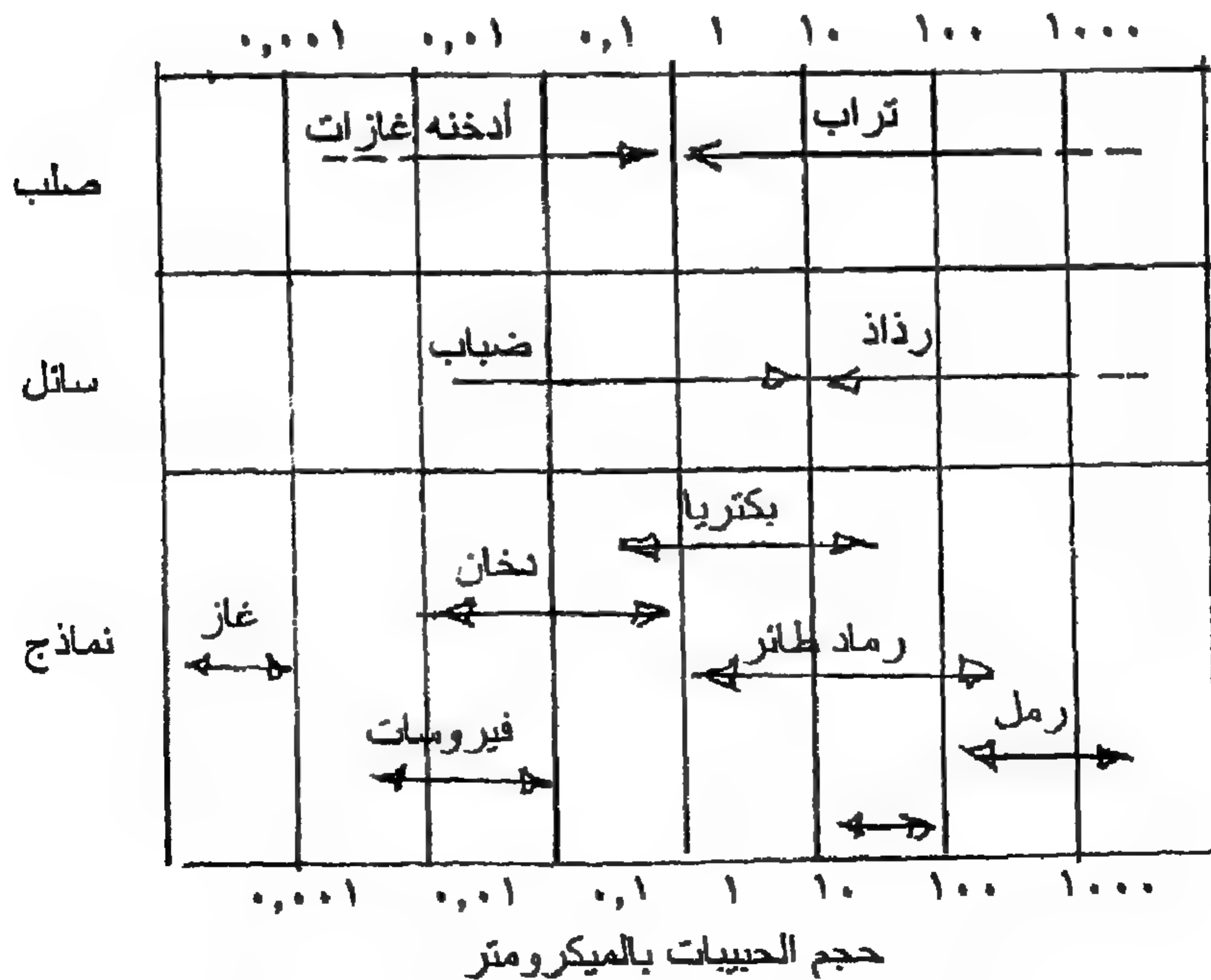
الجسيمات المتناهية الصغر للنقاط الصلبة أو السائلة العالقة في الهواء تسمى (particulates) باستثناء الرصاص يتم التعرف على الجسيمات على أساس حجم الجبهة والمصدر، وليس بالتركيب الكيميائي. نظراً لأن لها أشكال غير منتظمة فإن الحجم يعرف بمكافئ القطر الحركي الهوائي (Aerodynamic Diameter)، والذي يشير إلى دائرة ذات كثافة الماء والتي لها نفس سرعة الترسيب مثل الجسيمات.

معظم الجسيمات يتراوح قطرها ما بين ٠,١ إلى ١٠٠ ميكرون (واحد ميكروميتر أو 1mm) هو واحد على مليون من المتر وقد يسمى كذلك الميكرون (Micron). مواد الجسيمات ذات الأهمية بالنسبة للتأثيرات الضارة على صحة الإنسان هي عموماً أقل في القطر من ١٠ ميكرون ويشار لها (PM₁₀).

رغم أن الجسيمات المستقلة تكون صغيرة، فإن إجمالي كتلة الجسيمات التي تنبعث إلى الجو كبيرة جداً. إجمالي الانبعاثات الكلية للجسيمات هو حوالي ٧ مليون طن في العام في الولايات المتحدة. انبعاثات الجسيمات تأتي من عمليات تداول المواد، عمليات الاحتراق أو تفاعلات تحولات الغاز في الجو. معظم المصادر تشمل العمليات الصناعية، محطات الطاقة التي تقوم بحرق الفحم أو الزيت، نظم التدفئة والتدفئة المنزلية، المركبات. الجسيمات أصغر من ١ ميكرون تميل إلى أن تظل عالقة في الجو، بينما تلك أكبر من ١ ميكرون تميل إلى أن ترسب بفعل قوة الجاذبية. الجسيمات عموماً تصنف بالاسم طبقاً لحجمها ونوعها (صلبة أم سائلة).

الجسيمات العالقة التي يتراوح حجمها (قطرها) ما بين ١ إلى ١٠٠ ميكرون تسمى جسيمات الغبار (Dust particles)، بينما الجسيمات العالقة الصلبة الأصغر من ذلك (أقل من ١ ميكرون) تسمى إما الضباب الرقيق أو الدخان (Smoke or Fumes). الغبار يتكون من أنشطة تداول المواد أو من العمليات الميكانيكية، بما فيها الطحن، تصنيع الأخشاب، وعمليات الترميل (Sand Blasting). جسيمات الدخان (Smoke) يتكون معظمها من مواد كربونية. (السناج Soot هو تعبير يشير إلى تراكبات مرئية من جسيمات الكربون). الدخان (Fumes) عادة يتكون من جسيمات صغيرة جداً من الأكاسيد المعدنية، ويتكون أثناء تفاعلات كيميائية معينة عند درجة حرارة عالية وتكثف البخار.

العلق من جسيمات السائل ما بين ٠,٠١ ، ١٠ ميكرون يسمى الضباب (Mist)، بينما الرذاذ (Spray) يتكون من جسيمات سائلة ذات قطر أكبر من ١٠ ميكرون. أخيراً فإن معنى كلمة إيروسول (Aerosol) أو الضباب الجوي تشير إلى كمية أي جسيمات صغيرة صلبة أو سائلة عالقة في الهواء. للمساعدة في وضع هذه المصنوفة من التسميات في نظام مناسب، فإن الشكل (٦/٧) يوضح الحجم النسبي لمختلف الجسيمات الصلبة والسائلة.



شكل (٦/٧) خواص أحجام الجسيمات الصلبة والسائلة

جسيمات الرصاص (Lead Particulates)

هذا المعدن السام في شكل أدخنة (Fumes) بحجم أقل من ٠,٥ ميكرون هو من أكبر الملوثات. في الماضي، المصادر الرئيسية لأدخنة الرصاص (Pb) كانت محركات السيارات التي تحرق الجازولين الذي يحتوي على إضافات ذات الأساس من الرصاص لمنع ظاهرة التخطب (Antilock). حالياً طالبت وكالة حماية البيئة (EPA) باستخدام الجازولين الخالي من الرصاص (Unleaded)، ولكن الرصاص مازال ينبعث من عمليات تكرير البترول وعمليات الصهر، إعادة استخدام البطاريات وبعض الأنشطة الصناعية الأخرى. الأطفال الصغار بالتحديد يكونون عرضة لمخاطر التسمم بالرصاص لأنه حتى المستويات المرتفعة قليلاً للرصاص في الدم تسبب عدم القدرة على التعلم ونوبة مرضية مفاجئة، مرض مزمن للمخ، وقد يصل حد التسمم إلى الموت. انخفض مستوى الرصاص في الجو لأكثر من ٩٠% منذ منتصف عام ١٩٧٠ عندما تم منع استخدام الجازولين المعالج بالرصاص.

الأوزون والضباب الدخاني الكيميائي الضوئي:

(Ozone and Photochemical Smog)

الأوزون (O_3) هو ملوث ثانوي للهواء (Secondary) في التروبوسفير، ويتكون من خلال مجموعة معقدة من التفاعلات الكيميائية ما بين ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2) والمركبات العضوية المتطايرة (Voc's Volatile organic compounds) هي هيدروكربونات سريعة التبخر في ظروف الجو العادية. التفاعل يتم تنشيطه بطاقة الأشعة تحت الحمراء في ضوء الشمس. في الواقع فإن عدداً من الملوثات الثانوية (التي تسمى المؤكسدات الكيميائية الضوئية (Photochemical Oxidants)) تتكون في التفاعلات. الأوزون هو الأكثر وفرة من بين المؤكسدات، وهو المكون الأساسي في الضباب الدخاني الكيميائي الضوئي.

كلمة (Smog) وهي تلخيص لـ "الدخان والضباب" استخدمت أساساً في إنجلترا لوصف تلوث الهواء المرئي الذي كان يسبب المستويات المرتفعة للجسيمات وثاني أكسيد الكبريت. بينما هذا النوع من الضباب الدخاني يختلف في المصدر والمكونات عن الضباب الدخاني الكيميائي الضوئي، الخواص المشتركة لكليهما هي الضباب المنخفض البنى المسبب للحساسية الذي يسود في الجو عند حدوث الضباب الدخاني (Smog).

نظراً لأن أكاسيد النيتروجين والكيمائيات العضوية المتطايرة كلاهما ينبعث بكميات كبيرة من محرك العربات، فإن الضباب الدخاني الكيماوي الضوئي يكون عادياً في المناطق الحضرية مع الكثافات المرورية العالية وأشعة الشمس. فمثلاً، لوس أنجلوس، كاليفورنيا يلاحظ أنهما يحظيان بهذه الظاهرة من الضباب الدخاني المزمن. الظواهر الجغرافية والمناخ تساهم في هذا الوضع. الجبال حتى ارتفاع ٢٥٠٠ متر (٨٠٠٠ قدم) حول حوض لوس أنجلوس، التدفق الثابت الشرقي للهواء البارد العلوي عادة يهبط فوق المدينة، مسبباً انقلاباً حرارياً. هذا الانقلاب في درجة الحرارة يحتجز الملوثات فوق المدينة، والسماء الصافية (حوالي ٢٠٠ يوم في العام) توفر ضوء الشمس الكافي لإنتاج الضباب الدخاني (Smog).

ملوثات الهواء الخطرة : (Hazardous air pollutants)

ملوثات الهواء المرتبطة بمصادر معينة والتي تسبب تهديداً فورياً لصحة الإنسان تسمى سميات الهواء أو ملوثات الهواء الخطرة. الخطورة تكون كبيرة لمن يقطنوا في المناطق الحضرية عالية التلوث وذات الصناعات الكثيفة. خطورة تلوث الهواء تزيد من السرطان وتأثيرات ضارة أخرى وتسبب مضار بيئية واسعة الانتشار. الجزء الكبير من السميات التي وجدت في بحيرة ماء، وجد أنه ترسب من الهواء أكثر من التدفقات السطحية (مثال لذلك الزئبق في البحيرات العظمى). بينما الانبعاثات للملوثات في معظم الحالات ثابت ومتدرج، فإنه توجد احتمالات لملوثات الهواء الخطرة أن تتطلق مفاجأة في شكل حوادث مدمرة. أحد أهم هذه الحوادث السيئة هي حادثة ١٩٨٥ في مصنع المبيدات في مدينة (Bhopal) في الهند حيث انطلق مادة الميثيل أيزو سيانيد السامة في الهواء قتلت حوالي ٣٠٠٠ فرد وأصابت آلاف آخرين. توجد مئات من الحوادث كل عام في الولايات المتحدة حيث تنطلق مواد شديدة السمية في الهواء عن غير عمد وإن كان هذا ليس بشدة وعنف حادثة الهند.

برنامج سميات الهواء الذي تم وضعه بواسطة قانون الهواء النظيف عام ١٩٩٠ (By the Clean air act amendments) تضمن حوافز كبيرة نحو ابتكار ومنع التلوث في الصناعة. تم وضع بيان بعدد ١٨٩ ملوثات سامة للهواء، مع جدول لمدة ١٠ سنوات لوضع المواصفات لكل المصادر الرئيسية لملوثات الهواء الخطرة. المصدر الرئيسي هو ذلك الذي يصرف أكثر من ١٠ أطنان في العام من أي ملوث خطر في الهواء أو ٢٥ طناً من أي ملوثات خطيرة أخرى. وهذا أجبر الصناعات على إقامة أفضل تقنيات التحكم التي

تتطابق مع المواصفات. ويتوقع أن خطة ١٠ سنوات هذه سوف تقلل الانبعاثات الخطرة لتلوث الهواء لأكثر من مليون طن في العام في الولايات المتحدة.

قبل ذلك تم وضع مواصفات لعدد ست مواد من ملوثات الهواء السامة، وهم الأسبستوس، البنزين (C_6H_6)، البريليوم، الزئبق، الفينيل كلورايد (Vinylchloride)، وملوثات الهواء ذات النشاط الإشعاعي. أقصى مستويات للزرنبيخ ومواد كثيرة أخرى جاري دراستها. الأسبستوس الذي يمكن أن يحمله الهواء أثناء عمليات النسف أو صيانة وتجديد المباني القديمة المحتوى على الأسبستوس المقاوم للحريق، يمكن أن يسبب عديداً من أمراض الرئة بما فيها مرض السرطان. البنزين كذلك مسرطن فعال ينبعث في الهواء بواسطة العربات التي تعمل بالجازولين. البريليوم يأتي من المسابك ومصانع السيراميك، المحارق ومصادر أخرى. الزئبق هو معدن موجود بكميات قليلة في الفحم وينطلق إلى الهواء عند حرق الفحم لتوليد الطاقة. كما يمكن أن ينطلق أثناء حرق القمامة ومن عوامل التعرية لبويات اللاتكس (Latex - Based Paints)، التي تحتوى على الزئبق لمنع العفن الفطري (Mildew). الزئبق يمكن أن يسبب تلف للمخ والكلية. فينيل كلورايد ينبعث من عديد من صناعات البلاستيك.

تأثيرات تلوث الهواء المحيط : Effects of Ambient Air Pollution

تلوث الهواء معروف أن له تأثيرات ضارة متضمنة تلك التي على الصحة العامة، وواجهات المباني والمواد المعرضة الأخرى، الخضراوات، الحاصلات الزراعية، الحيوانات، النظام البيئي الأرضي، ومناخ الأرض كلية. بعض الآثار الصحية سيتم تناولها هنا بالتفصيل. التأثير على المواد، الخضراوات وهكذا -الاعتبارات الاقتصادية الكبيرة - سيتم مناقشتها هنا.

التأثيرات طويلة المدى على مناخ الكرة الأرضية سيتم مناقشتها كذلك.

تأثيرات الصحة : (Health Effects)

ربما أن أهم تأثير لتلوث الهواء هو الضرر الذي يسببه لصحة الإنسان. عموماً تلوث الهواء يكون شديد الضرر على كبار السن وصغار السن. كثير من كبار السن قد كان يعانون من أحد أمراض القلب أو الرئة، وحالتهم الضعيفة هذه تجعلهم أكثر حساسية لضرر إضافي من تلوث الهواء. حساسية الرئة للأطفال حديثي الولادة أكثر حساسية للضرر بفعل تلوث الهواء. ولكن ليس فقط كبار السن أو الصغار هم الذين يعانون، ولكن

الأصحاء من جميع الأعمار يمكن أن يتأثروا بشدة بمستويات التلوث المرتفعة للهواء الجوى.

معظم التأثيرات الصحية تصنف على أنها إما حادة (acute) أو مزمنة (chronic) أو مؤقتة (temporary). التأثير الحاد يستمر لمدة قصيرة ولكنه حاد ويمكن أن يسبب الوفاة. التأثير المزمن عادةً يشمل مرض الجهاز التنفسي مثل التهاب الشعبى (Bronchitis)، انتفاخ الرئة (Emphysema)، الربو (Asthma) وربما سرطان الرئة. التأثيرات المؤقتة تشمل الحساسية للعين والحنجرة فى أوقات متقطعة، الكحة، آلام الصدر، التوعك الذى تبدأ به العلة (Malaise)، عدم الارتياح العام. حوادث تلوث الهواء المتقطعة تكون مؤقتة ولكن يمكن أن تكون مدمرة. أحد الحوادث استمر حوالى ٢-٧ يوم، أثناء ذلك الحين حدثت أمراض وزادت الوفيات فى جميع الأعمار، ولكن معظمهم من كبار السن وصغار السن وكذلك المرضى.

إنه من الصعب لخبراء الصحة العامة لمطابقة ملوثات هواء معينة مع أمراض معينة مع تأكيد مطلق، ولكن يمكن عمل استنتاجات عامة من البيانات المتاحة، وخاصة تلك المتاحة أثناء حوادث تلوث الهواء. بعض العوامل التى يجب اعتبارها هى الجرعة الأولية، جرعة الجسم الكلية، وزمن التعرض والتأثيرات المساعدة. المستوى الأولى لملوثات ما هو أدنى مستوى الذى أقل منه لا يكون هناك تأثيرات على الصحة العامة. المادة بدون بداية محددة سوف يكون لها بعض التأثيرات التى يمكن الكشف عنها أو رد الفعل عند أى مستوى من التلوث. العلاقة بين الجرعة - ورد الفعل لمعظم ملوثات الهواء، لسوء الحظ لا تكشف قيم بداية واضحة. حقيقة أن الإنسان يكون معرضاً لبعض من نفس الملوثات فى الماء والغذاء وكذلك فى الهواء، بما جعل دراسات الصحة العامة معقدة بالنسبة لتأثيرات تلوث الهواء ذلك لأن إجمالى جرعة الجسم ليست هى دلالة الملوثات التى يحملها الهواء. كذلك، فإن التأثيرات الصحية لكثير من الملوثات (مثل CO) تعتمد بشكل كبير على زمن التعرض، ثم بعض الملوثات الأخرى تساعد على التحفيز، معنى ذلك أن التأثير الكلى على الصحة لمادتين أو أكثر معاً أسوأ عن أى منها منفرداً.

توجد شواهد كثيرة للربط بين سرطان الرئة وتلوث الهواء، ذلك رغم أن السبب الحقيقى والتأثير وما بينهما من علاقة مازال غير معروف. بعض الحقائق التى تؤكد العلاقة هى أن سرطان الرئة يحدث كثيراً فى المناطق الحضرية مقارنة بالمناطق الريفية. المواد المسرطنة وجدت فى هواء المدينة الملوثة، كما أنها من مسببات السرطان فى الحيوانات المختبرة فى المعمل.

ملوثات الهواء تدخل إلى الجسم خلال الجهاز التنفسي، حيث يحدث انتقال للغازات في الحويصلات الصغيرة، حيث يمكن للملوثات عندئذ أن تمتص في الدم. الرئة الهدف الرئيسي لملوثات الهواء يمكن أن تتلف بملوثات الهواء من الجسيمات والغازات.

التأثيرات لكل من ثاني أكسيد الكبريت، أكاسيد النيتروجين والأوزون تشمل حساسية العين والحنجرة والكحة وآلام الصدر. هذه الغازات الخائفة يمكن أن تتلف نسيج الرئة عند استنشاقها ويصاحبها التهاب شعبي وانتفاخ الرئة وأمراض رئوية أخرى. ثاني أكسيد الكبريت يمكن أن يقلص الأنابيب الشعبية ويؤثر بشدة على الأهداب، الشعيرات الصغيرة جداً التي هي جزء من آلية الدفاع عن الجهاز التنفسي. أكسيد النيتروجين معروف أنه يسبب الاستسقاء الوريدي، تراكم السوائل الزائدة في الرئتين. الأوزون الغاز شديد الإثارة والتهيج يسبب انقباض الوريد الرئوي، أعراض التعرض للأوزون قد تشمل جفاف الحلق، الصداع، عدم الاتزان، وتغير في نظام التنفس. الالتهاب الشعبي الحاد الذي يظهر من السعال الحاد، يكون بسبب الإفرازات المخاطية الزائدة في شعبي القصبة الهوائية. ثبت أن الوفاة من الالتهاب الشعبي كانت بسبب ارتفاع مستوى تلوث الهواء. نفس الأسباب تنطبق على انتفاخ الرئة والذي يتصف بتكسير الحويصلات الهوائية، مسبباً صعوبة كبيرة في التنفس. المرض عادي في المناطق الحضرية وهو من الأسباب التي تؤدي إلى الوفاة خاصة عندما يصاحبه التأثيرات الناتجة عن تدخين التبغ.

أول أكسيد الكربون هو غاز لا لون له ولا رائحة ولا يمكن ملاحظته وهو غاز خطير نظراً لأنه يستنشق بدون أن يسبب أي حساسية أو عدم ارتياح. أول أكسيد الكربون غاز شديد السمية ذلك لأنه يتحد بسرعة مع الهيموجلوبين في الدم حيث يحتل المكان الذي يشغله الأكسجين طبيعياً (والذي يحتاج إليه الجسم باستمرار). تكوين مادة الكربوكسي هيموجلوبين تقلل من قدرة الدم على نقل الأكسجين إلى خلايا الجسم مما يؤدي إلى الاختناق.

مستوى أول أكسيد الكربون بحوالي ١٠٠٠ جزء في المليون. يمكن أن يسبب فقدان الوعي للشخص الصحيح بعد التعرض لمدة ساعة، تحدث الوفاة بسبب الاختناق بعد حوالي ٤ ساعات عند هذا التركيز. حتى أن التركيزات الأقل كثيراً يمكن أن تسبب المرض أو خفض الوعي الذهني. نتيجة لذلك فإن أقصى تعرض مسموح به لمدة ٨ ساعات للعمال في الولايات المتحدة هو ٥٠ جزءاً في المليون. في حالات معينة وبالتحديد

بالقرب من الطرق المزبحة بالسيارات فإن مستوى أول أكسيد الكربون فى الجو قد يصل فى ساعة الذروة إلى حوالى ٤٠٠ جزء فى المليون.

الأثر الضار الكبير على الصحة العامة نتيجة استنشاق جسيمات المادة يتوقف غالباً على حجم هذه الجسيمات. الأجسام التى تخترق بعمق نحو الرئتين وتصل إلى الحويصلات الهوائية تكون خطيرة بالتحديد نظراً لأنها تستمر هناك لمدة زمنية طويلة نسبياً. جسيمات معينة تكون خطيرة بسبب خواصها السامة أو المسرطنة، من بين هذه المواد أبخرة الرصاص وشعيرات الأسبستوس. كثير من الأجسام الكربونية ، هناك شك فى أن تكون مسرطنة. بينما الأجسام أصغر من ٠,١ ميكرون فى الحجم يمكن أن تصل بسرعة إلى الحويصلات الهوائية، فإن الأجسام أكبر من ١ ميكرون يتم عادة حجزها بواسطة بطانة الحماية من الغشاء المخاطى وشعيرات الأهداب فى الأنف والحنجرة. العامل الذى يؤثر على ترسيب الأجسام، بين ٠,١ إلى ١ ميكرون فى الرئتين هو عدد مرات التنفس فى الدقيقة، العامل الآخر هو إجمالى حجم الهواء الذى يتحرك من وإلى الرئتين مع كل تنفس. الجسيمات أكبر من ١٠ ميكرون تميل إلى أن ترسب بسرعة فى الهواء، ولا يمكن اعتبارها مسببة لآى مشاكل صحية لأن تلك التى يتم استنشاقها تزال عادة فى الجزء العلوى من الجهاز التنفسى ولا تخترق بعمق نحو الرئة. المستويات العالية للجسيمات تعمل بتعاون مع المستويات العالية من ثانى أكسيد الكبريت ولها علاقة بزيادة معدل عدوى الجهاز التنفسى وعدم انتظام ضربات القلب. ضباب حامض الكبريتيك يكون مهيجاً للغشاء المخاطى، النقاط الصغيرة من حامض الكبريتيك يكون ضررها أكثر من أربعة أضعاف ضرر غاز ثانى أكسيد الكبريت. جسيمات الرصاص تتداخل مع أداء خلايا الدم الحمراء مع صعوبة التنفس، السعال والفقد فى الوزن.

مؤثرات أخرى لتلوث الهواء :

تلوث الهواء يسبب تلفاً كبيراً للمادة وخاصة فى المناطق الحضرية شديدة التلوث وهذه تشمل الإتساخ وتلف أسطح المباني (أو الواجهات) والآثار العامة، وتآكل المعادن، وإضعاف المنسوجات، الجلود، المطاط، النايلون، والمنتجات المصنعة الأخرى.

ترسيب الجسيمات على المواد المعرضة هو أحد أسباب الاتساخ، ونظافة هذه الأسطح المتسخة باستمرار قد يؤدى إلى سرعة إتلافها. الاحتكاك يسبب الأجسام التى تحملها الرياح بسرعة عالية يمكن أن يحدث إضعاف وبلى للأسطح الصلبة وحتى الأحجار.

ثاني أكسيد الكبريت هو من الملوثات التي تحدث تآكل للمعادن. وتضعف المنسوجات من الخيوط الصناعية (مثل الخيوط من النايلون)، كذلك يمكن أن يسبب تغيراً كيميائياً في لوح أسطح الطلاء بالبويات.

حامض الكبريتيك يمكن أن يسبب تلفاً حاداً للمواد المعرضة مثل الحجر الجيري، والمونة الأسمنتية، يتفاعل الحامض مع كربونات الكالسيوم في مواد البناء هذه مكوناً كبريتات الكالسيوم التي تذوب في الماء، والتي يسهل غسلها وإزالتها بمياه الأمطار، تاركاً سطحاً متأكلاً. الجلد يصبح هشاً عند تعرضه لثاني أكسيد الكبريت كما في حالة تشقق المطاط عند تعرضه للأوزون، وهذه أمثلة إضافية لعدوانية الكيماويات على المواد بفعل تلوث الهواء.

إتلاف المواد بتلوث الهواء هو أكثر من كونه مشكلة إحساس فهي مشكلة اقتصادية بكل المقاييس. رغم أن ذلك ليس سريع الوضوح للملاحظ العادي، فإن إجمالي تكاليف النظافة والإصلاح للتلف بسبب تلوث الهواء يقدر بما يزيد عن مليار دولار في العام في الولايات المتحدة.

تلوث الهواء يمكن أن يدمر الأشجار، الزهور، الثمار، والخضروات بطرق مختلفة. بعض الملوثات تسبب تحطماً لنسيج الورق، والآخر يمكن أن يبيض أو يغير لون الأوراق. الأوزون بالتحديد يسبب التلف لأوراق النبتة (التي تزرع لأوراقها الزيتية)، ويقلل من معدل النمو للسلالات الحساسة من الأشجار. الأوزون وحده يسبب ما لا يقل عن ٩٠% من التلف للحاصلات الزراعية (مثل القمح)، والذي يتراوح ما بين ٢-٣ مليار دولار في العام في الولايات المتحدة. ملوثات هواء معينة تسبب كذلك أضراراً للماشية، ولكن هذه مشكلة محلية للمزارع التي تقع قريباً من مواقع صناعية معينة المسببة للتلوث. بالنسبة للجمهور فإن التأثير الملاحظ لتلوث الهواء هو على الجو نفسه. وخاصة هذه الحالة من الضباب وخفض الرؤية نتيجة تشتت الضوء. الجسيمات العالقة والضباب يمكن أن يؤثر على حالة المناخ بزيادة معدل حدوث تكون الضباب وكذلك المطر. ربما ليس كما يلاحظ ولكن للأهمية على المدى الطويل، هو حقيقة أن تراكم الأجسام العالقة في الجو يمكن أن تقلل بدرجة كبيرة كمية الطاقة الشمسية التي تصل إلى سطح الأرض. وهذا سوف يؤثر على قدرة الأرض على الانعكاس (Reflectivity) [Albedo - وهو قياس قدرة سطح غير صقيل على عكس الإشعاع الساقط عليه]، والذي يمكن أن يؤدي إلى هبوط في

متوسط درجة حرارة الكرة الأرضية حالياً، يبدو أن أى زيادة فى قدرة الأرض على الانعكاس يتم مقاومتها بالظاهرة الكونية المسماة تأثير الصوبة (Green House Effect).

٤- تلوث هواء الكرة الأرضية : (Global Air Pollution)

مشكلة تلوث الهواء ليست بالضرورة مقيدة على مستوى محلى أو إقليمى. دوران وانتشار الهواء الجوى يمكن أن ينقل ملوثات معينة بعيداً عن مصدر إنتاجها، حيث يتمدد تلوث الهواء إلى المستوى القارى أو مستوى الكرة الأرضية، حيث يمكن أن يقال أن مشكلة نوعية الهواء لا تعرف حدوداً دولية. بعض ملوثات الهواء معروف أنها مصاحبة للتغيرات فى مناخ الأرض، بما يتطلب أداء حكومى للحد من تأثيراتها. وصف التلوث أنه عالمى لا يعنى أن الملوث ليس بالضرورى منتشر على كل العالم. وهذا يعنى أن التلوث يحدث فى مناطق مختلفة حول الكرة الأرضية ولكن ليس لأماكن محددة فقط.

يمكن وصف مقاييس انتقال الملوث فى الجو كالاتى :

محلى : حتى عدة كيلومترات من المنبع وغالباً يصاحبه كتل صاعدة من الهواء (سحابة) (Plume).

إقليمى : حتى ١٠٠٠ كيلومتر من المنبع ومصاحب بخروج سحابات مستقلة من كتل الملوثات.

قارى : حتى عدة آلاف من الكيلومترات من المصدر وتبادل الملوثات بين التروبوسفير والاستراتوسفير ممكن على هذا المستوى.

عالمى : أكثر من عدة آلاف من الكيلومترات من المصدر وخلال كل الغلاف الجوى.

على مستوى الكرة الأرضية، التعرف على ممرات انتقال الملوثات يعتبر وصفه غير ضرورى بسبب الخلط الجوى المكثف. توجد مشكلتان هامتان من ملوثات الهواء حيث يمكن اعتبارهما على المستوى العالمى (لكل الكرة الأرضية) وهما زيادة حرارة الكرة الأرضية (Global Warming) وخفض الأوزون فى الاستراتوسفير. المشاكل البيئية المتعلقة بالمطر الحمضى ذات العلاقة الإقليمية والقارية سيتم تناولها كذلك.

دفعاء الكرة الأرضية : (Global Warming)

يزداد متوسط درجة حرارة الأرض فى كل العالم. فى الواقع فإن عقد ١٩٩٠ كان أدفاً ما تم تسجيله، والاتجاه نحو الارتفاع التدريجى فى درجة الحرارة يبدو أنه فى

استمرار. طبقاً لبعض التقديرات فقد ارتفعت درجة حرارة الكرة الأرضية 0.5°C (١) فنهيت منذ نهاية القرن التاسع عشر، وقد يبدو ذلك ارتفاع غير كبير، على أساس التغيرات الكبيرة في درجات الحرارة التي تحدث على أساس يومي وسنوي في أي مكان معين، بالإضافة إلى صعوبة قياس، جمع، وتفسير تسجيلات درجة الحرارة حول العالم منذ قرن من الزمان أو أكثر. ولكن معظم علماء الأرصاد الجوية يعرفون أن زيادة صغيرة في متوسط درجة حرارة الكرة الأرضية يمكن أن يكون لها مردود ملموس على مناخ الأرض.

حقيقة أن الأرض ستزداد دفئاً ليس محل خلاف بين العلماء. ولكن كان هناك بعض الخلاف حول أسباب دفء الأرض، وعن مدى هذا الدفء وعن تأثيرات هذا الدفء على أنماط المناخ. قليل من العلماء يعتقد أن كمية الدفء (ارتفاع درجة الحرارة) مازالت صغيرة بما يمكن معرفتها من الأسباب الطبيعية. وجهة النظر السائدة بين معظم القائمين بالأبحاث في مجال الغلاف الجوي يرجعون ظاهرة الدفء بسبب زيادة تركيزات ثاني أكسيد الكربون وبعض الغازات الأخرى التي تحتجز وتستبقى الحرارة من الشمس. في الواقع، في يونيو ٢٠٠١ صدر تقرير من الأكاديمية الدولية للعلوم الأمريكية لتأكيد وجهة النظر أن جو الأرض يزداد دفئاً، وأن الأنشطة الآدمية مسئولة بدرجة كبيرة عن الاتجاه نحو الدفء، وأن الموقف سيء.

ثاني أكسيد الكربون وغازات أخرى تحتجز الحرارة من الشمس في عملية تشبه تلك التي تحدث في الصوبة (Green House)، وبالتالي فإن عملية دفء الأرض تسمى تأثير الصوبة (Green House Effect) رغم أن المقارنة المباشرة بين الغلاف الجوي والصبوبة الزجاجية المغلقة ليست بالدقة الكافية. وسيتم شرح أسباب ذلك.

تأثير الصوبة (Green House Effect)

لتفهم نظرية دفء الأرض، يكون من الضروري أولاً معرفة الفرق بين تأثير الصوبة الطبيعي وتأثير الصوبة بفعل الإنسان. تأثير الصوبة الطبيعي هو نتيجة طبيعية لوجود طبقة من الهواء حول الأرض، بينما تأثير الصوبة بفعل الإنسان يعتبر نتيجة مباشرة لتراكم بعض الغازات (Trace Gases) في الهواء من الأنشطة بفعل الإنسان. من المهم ملاحظة أنه بدون تأثير الصوبة الطبيعي، فإن الحياة في شكلها الحالي كانت مستحيلة على الأرض.

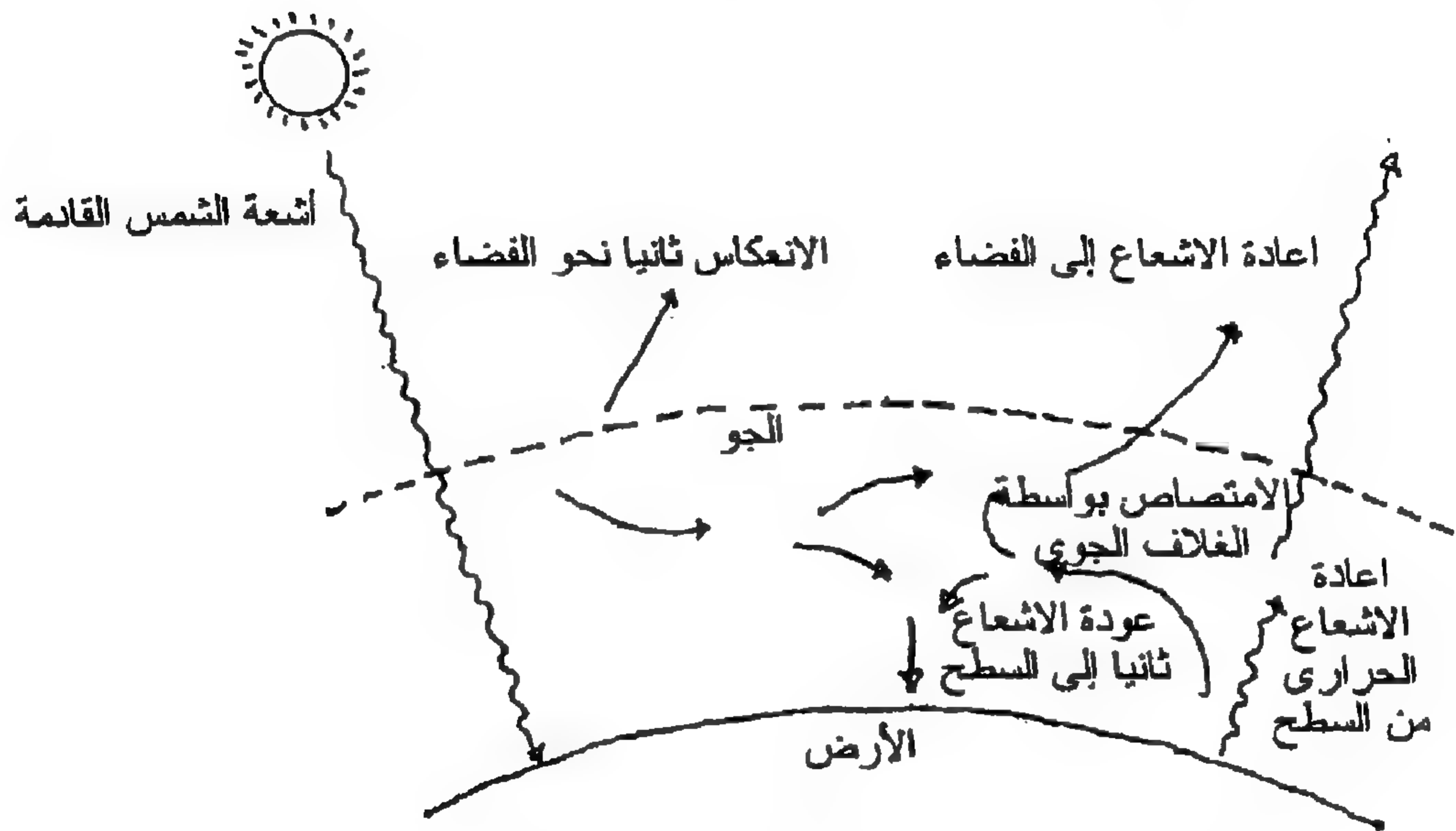
نظراً لأن الماء السائل ضروري للحياة، فإن متوسط درجة الحرارة على الأرض يجب أن تظل في المجال حيث يوجد الماء السائل، أي ما بين صفر إلى 100°م. الأرض دافئة بما يكفي لوجود الماء السائل (والحياة) بسبب طبقة الهواء التي تسمى الجو أو الغلاف الجوي. إذا كانت الأرض بدون غلاف جوي، فإن متوسط الحرارة عند السطح سوف تكون حوالي -18°م، كما هو الحال على سطح القمر الخالي من الهواء. في الواقع درجة الحرارة على سطح القمر تنخفض إلى -150°م في الظلام، ولكن متوسط درجة حرارة الأرض في طبقة الهواء فوق السطح مباشرة هو حوالي 15°م. بمعنى آخر فإن الغلاف الجوي وتأثيره الصوبة الطبيعي يمكن أن يحافظ على دفء الأرض بحوالي 33°م أكثر دفئاً عن خلاف ذلك. السبب في هذا هو أن الغلاف الجوي يؤثر على كمية الطاقة الحرارية التي يتم إشعاعها من الشمس والتي تصل إلى الأرض، وكذلك على كمية الحرارة التي يتم إشعاعها بواسطة الأرض لتعود ثانياً إلى الفضاء. سيتم عندئذ توضيح كيف يحدث ذلك.

كل الأغراض تشع طاقة حرارية، وكلما زادت سخونة الغرض زادت الحرارة التي يشعها. نوع الطاقة التي يتم إشعاعها والتي توصف بطول موجتها يتوقف على درجة حرارة الغرض. الإشعاع من سطح الشمس حيث درجة الحرارة 1600°م معظمها في جزء من الطيف (Spectrum) الذي نسميه الضوء المرئي. يمر الضوء خلال الغلاف الجوي حول الكرة الأرضية بدون امتصاص كامل. حوالي 45% من الإشعاع القادم من الشمس يصل إلى سطح الأرض، 15% يتم امتصاصه بواسطة الغلاف الجوي، حوالي 40% ينعكس ثانياً نحو الفضاء بواسطة السحب. بعض الضوء ينعكس كذلك عند السطح، ولكن معظمه يمتص بواسطة التربة، الصخور، الماء، الزراعات، تدفئة الأرض والبحر.

جزء من طاقة أشعة الشمس، بطول موجة أقصر من الضوء المرئي، يكون في المجال الطيفي يسمى ضوء الأشعة فوق البنفسجية (UV). حتى أن جزءاً أصغر من الطاقة الكلية من الشمس ينبعث عند الطرف الآخر من الطيف في حزمة تسمى الأشعة تحت الحمراء، ذات طول موجة أطول من تلك للضوء المرئي. الأشعة فوق البنفسجية تمتص في الاستراتوسفير (بواسطة جزيئات الأكسجين وجزيئات الأوزون) وتوفر الدفء لهذه الطبقة من الهواء. ولكن هذا ليس له علاقة بتأثير الصوبة. الأشعة تحت الحمراء على الجانب الآخر تقوم بدور أساسي في تأثير الصوبة. ولكن نحن نعلم الإشعاعات تحت الحمراء من الأرض وليست الإشعاعات تحت الحمراء من الشمس هي التي تقوم بذلك. كلما انخفضت درجة حرارة الغرض، كلما زاد طول الموجة لطاقته الإشعاعية. سطح

الأرض عند درجة حرارة أقل كثيراً عن درجة حرارة الشمس، تشع طاقة معظمها فى مجال تحت الحمراء من الطيف. وليس مثل الضوء المرئى، هذه الأشعة تحت الحمراء تمتص فى الجو، أساساً بواسطة بخار الماء، وجزئيات ثانى أكسيد الكربون. لهذا السبب، فإن الطبقة السفلى للغلاف الجوى التروبوسفير تصبح دافئة.

الهواء الدفئ نفسه يشع حرارة تحت الحمراء، بعض منها يعود ثانياً نحو الأرض بما يجعلها أكثر دفئاً أكثر مما كانت بخلاف ذلك. هذا أساساً هو ما يعنى به تأثير الصوبة، باقى الإشعاعات الأرضية يتوجه إلى أعلى خلال الغلاف الجوى حيث تم تكرار امتصاصه وإشعاعه ثم الهروب نحو الفضاء كما هو فى الشكل (٦/٨).



شكل (٦/٨) تأثير الصوبة. حوالى ٦٥% من الإشعاع الذى يصل إلى السطح

هو طاقة تحت الحمراء التى يعاد إشعاعها نحو الفضاء

الجزء السفلى من التروبوسفير هو الأكثر دفئاً حيث تنخفض درجة الحرارة مع الارتفاع كما فى الشكل (٦/٢). هذا الميل إلى البرودة ينعكس فى الاستراتوسفير لأن الأشعة فوق بنفسجية القادمة من الشمس يتم امتصاصها بواسطة جزئيات الأكسجين والأوزون. رغم ذلك فإن سطح الأرض أكثر دفئاً بحوالى ٣٣°م عما لو كان الحال بدون تأثير الصوبة، ومتوسط درجة حرارة السطح لا تستمر فى الارتفاع إلى ما لا نهاية طالما أن المكونات الكيماوية للغلاف الجوى تظل كما هى. عموماً، يجب أن يكون هناك اتزان بين كمية الحرارة التى تصل إلى الأرض من الشمس وكمية الحرارة التى تشعها الأرض

لتعود ثانياً نحو الفضاء. طبيعى أن الأرض سوف تصبح دافئة إذا كانت تشع حرارة أقل من التى تستقبلها من الشمس، وأن الميل للدفع سوف يتوقف عندما تصبح الحرارة الخارجة فى حالة اتزان مع الحرارة القادمة.

اتزان إشعاع الأرض يعبر عنه بالمصطلح عدد الوات على المتر للمربع (Watts Per Square Meter). الوات (W) هو وحدة القدرة (Power) أى الطاقة (Energy) فى الثانية. مصباح الإضاءة المنزلى يمكن أن يكون له قدرة ١٥٠ وات معظمها فى شكل إضاءة. على مستوى العالم، متوسط الانبعاث السنوى لإشعاع الموجة الطويلة (تحت الحمراء) من سطح الأرض هو حوالى ٣٩٠ وات/ المتر المربع. ولكن المنبعثة نحو الفضاء من أعلى الغلاف الجوى هى حوالى ٢٤٠ وات/ المتر المربع، كما تم قياسها بالأقمار الصناعية. الفرق حوالى ١٥٠ وات/ المتر المربع هو طاقة الإشعاع الممتصة بغازات الصوبة فى الغلاف الجوى وتم إشعاعها ثانياً نحو سطح الأرض. عندئذ يمكن اعتبار تأثير الصوبة أنه مكافئ للطاقة المنبعثة من مصباح منزلى مضيئاً لكل متر مربع من الأرض. هذا، مع الطاقة المباشرة من الشمس يكفى للمحافظة على متوسط درجة الحرارة عند ١٥°م، حيث كان من الممكن أن تكون -١٨°م فى حالة عدم وجود الغلاف الجوى. بالنسبة لمكونات معينة للغلاف الجوى، توجد نقطة إتزان التى عندها متوسط درجة حرارة سطح الأرض يظل ثابتاً (طالما أن إشعاعات الشمس لا تتغير). ولكن التغير فى مكونات الغلاف الجوى (أى غازات صوبة أكثر) سوف يسبب زيادة الدفع لسطح الأرض حتى الوصول إلى نقطة اتزان جديدة.

الاتزان الطبيعى الموجود منذ مئات السنين قبل الثورة الصناعية، قد تغير بشكل ملحوظ. وهذا يرجع إلى حد كبير نتيجة حرق الوقود الحفرى وزيادة كمية ثانى أكسيد الكربون فى الجو، أى تأثير الصوبة بفعل نشاطات الإنسان. لقد سبق أن ذكر سابقاً أن استخدام تعبير تأثير الصوبة ليس صحيحاً تماماً فى وصف ظاهرة دفع الكرة الأرضية. ذلك أن الغلاف الزجاجى يمنع فقد الحرارة بالانتقال (Convection) وكذلك فقد فى الأشعة تحت الحمراء، ويرفع درجة الحرارة داخل الصوبة الحقيقية أكثر كثيراً عن ما يمكن بتأثير جو الأرض فقط. (الانتقال يعنى انتقال الحرارة بحركة كتلة من السائل من منطقة إلى أخرى فى الفضاء). الغلاف الجوى كذلك يسمح بأطوال موجة معينة من الأشعة تحت الحمراء بالهروب نحو الفضاء خلال ما يسمى النافذة الجوية (Atmospheric Window). ولكن، تعبير تأثير الصوبة يستخدم كثيراً ومعروف لدى العامة أنه سبب دفع الأرض.

غازات الصوبة (Green House Gases)

النيتروجين والأكسجين المكونات الرئيسية للغلاف الجوى، ليس لها أى دور فى تأثير الصوبة، ولكن يوجد حوالى ٣٥ غازاً بنسب قليلة جداً (Trace Gases) حيث يعتقد العلماء أنها تساهم فى دفء الكرة الأرضية، يعتبر ثانى أكسيد الكربون (CO_2) من أهم غازات الصوبة هذه، لامتصاص معظم الحرارة المحتجزة بواسطة الغلاف الجوى.

ثانى أكسيد الكربون لا يعتبر من ملوثات الهواء بالمعنى العادى للكلمة. حالياً عند متوسط تركيز حوالى ٣٥٠ جزء فى المليون (٠,٠٣٥%) لا يسبب أى آثار ضارة على صحة الإنسان. ولكن منذ الثورة الصناعية فى منتصف القرن التاسع عشر زادت كمية ثانى أكسيد الكربون المنبعثة فى الهواء من حرق الوقود الحفري (الزيت، الغاز، والفحم) للطاقة. منذ ١٠٠ عام تقريباً، كانت مستويات ثانى أكسيد الكربون ٢٧٠ جزء فى المليون، كما تم تعيينها بتحليل فقاعات الهواء فى قوالب ثلجية (Ice Cores) مأخوذة من (Green Land, Antarctica) ولقد زاد المعدل المتوسط لتركيز ثانى أكسيد الكربون بحوالى ٢% فى العام منذ عام ١٩٥٠. حوالى ٩٠% من انبعاثات ثانى أكسيد الكربون تحدث فى النصف الشمالى للكرة الأرضية. المصدر الرئيسى لثانى أكسيد الكربون هو حرق الوقود الحفري الذى يوفر أكثر من ٨٠% من احتياجات الطاقة للإنسان. يمثل الزيت حوالى نصف الوقود الحفري المستخدم للطاقة، الفحم حوالى الثلث والباقى من الغاز الطبيعى، كذلك يعتقد أن تدمير الغابات ساهم فى زيادة منسوب ثانى أكسيد الكربون ولكن تأثير حرق الغابات أقل كثيراً عن ذلك من حرق الوقود الحفري.

غازات أخرى ذات أهمية خاصة فى دفء الأرض هى غازات الكلورفلورو كاربون (Chlorofluorocarbons - CFC'S)، وغاز الميثان، وأكاسيد النيتروجين، والأوزون، رغم أن متوسط تركيزات هذه الغازات أقل كثيراً عن تركيز ثانى أكسيد الكربون، إلا أنها أكثر كفاءة عن ثانى أكسيد الكربون عند تسرب الإشعاع طويل الموجة. عموماً، يقدر أن ثانى أكسيد الكربون يسبب ٦٠% من تأثير الدفء، الكلوروفلورو كاربون ٢٥%، والباقى بسبب الميثان، أكسيد النيتروز، والأوزون، وغازات أخرى بتركيزات قليلة جداً.

الكلوروفلورو كاربون هو من الكيماويات المخلقة التى تدخل إلى الجو نتيجة الأنشطة الأدمية، وهذه لها علاقة كذلك بسبب تأثيرات على نقص الأوزون فى الاستراتوسفير (سيتم مناقشته فيما بعد). الميثان وأكسيد النيتروز، غازات موجودة فى الطبيعة تزداد لدرجة ما بسبب النشاطات بفعل الإنسان. كل من هذه الغازات ذات

التركيزات القليلة جدا له زمن مكث طويل في الجو، لذلك فإن تأثيراتها لها صفة الاستمرار الطويل.

المصادر الطبيعية لأكسيد النيتروز تشمل الأسمدة ذات الأساس النيتروجيني والأسمدة العضوية من الحيوانات المنزلية. الدراسات الحديثة أظهرت أن أكسيد النيتروز ينبعث كذلك في الهواء من المحولات الحفازة (Catalytic Converters)، التجهيزات في ماسورة عادم السيارة (الشكمان) لخفض تلوث الضباب المحتوى على الدخان (Smog). أكسيد النيتروز يمثل أكثر من ٧% من غازات الصوبة، ونصف ذلك يأتى من المحولات الحفازة. رغم أن مستويات أكسيد النيتروز المحيطة أقل كثيرا من مستويات ثاني أكسيد الكربون، إلا أن أكسيد النيتروز أقوى وأكثر فاعلية بنسبة حوالى ٣٠٠ ضعف عن ثاني أكسيد الكربون بالنسبة لقدرته على امتصاص الطاقة الحرارية وتدفئة الجو. لذلك فإن دوره كغاز صوبة يكون كبيرا.

أكسيد النيتروز (N_2O) لم يتم تصنيفه كملوث لأن قانون الهواء النظيف (Clear Air Act) تم عمله أساسا للسيطرة على الضباب الدخاني (Smog) وأنواع تلوث الهواء الأخرى وليس دفيء الكرة الأرضية. رغم أنه ممكن من الناحية التكنولوجية خفض انبعاثات N_2O بإعادة تصميم المحولات الحفازة بالتحرك التدريجي نحو استبدال سيارات الجازولين لتعمل بالكهرباء بما يوفر حل لانبعاث الملوثات من المركبات.

الآثار المترتبة على دفيء الكرة الأرضية

Potential Impacts of Global Warming

أحد الطرق التي استخدمها العلماء لتقدير تأثيرات دفيء الأرض تضمنت تحاليل الحاسب للمعادلات الرياضية التي تحاكي جو الأرض. هذه البرامج المتطورة باستخدام الحاسب الآلى (computer) تسمى نماذج الدوران العام (general Circulation Models) - (GCMs). كقاعدة للتنبؤ بالآثار المستقبلية على الأرض معظم النماذج تفترض أن تركيز غازات الصوبة سوف يتضاعف. على هذا الأساس فإن نماذج الدوران العام (GCMs) استنتجت عموما أن متوسط دفيء الأرض حتى ٤,٢°م (٧,٥° فهرنهايت) وأن الزيادة الكلية في الترسيب بحوالى ١٠% بحلول عام ٢٠٥٠. ويتوقع كذلك أن دفيء الأرض سيوفر دورة هيدرولوجية أكثر نشاطا، زيادة السحب (Cloud liness) وكذلك الترسيب.

ليس كل العلماء يوافقون على أن النشاط الإنسانى كان السبب في درجات حرارة الكرة الأرضية. بصرف النظر عن الخلافات حول نظرية غاز الصوبة بفعل الإنسان

ودقة نماذج الدوران العام (GCMs)، فإن علماء الغلاف الجوى قادرون على وضع سيناريوهات حول التأثيرات العامة التي يمكن أن تحدث إذا استمر متوسط درجة حرارة الكرة الأرضية في الارتفاع. يوجد تأثيران مترتبان على دفء الأرض وهما التأثيرات على مستويات البحر وعلى النظم الإحيائية (Ecosystems).

التقديرات الحديثة تقترح أن مستوى سطح البحر في العالم ارتفع بحوالى ٠,١٥ متر خلال القرن العشرين، حيث كان الارتفاع حدث منذ عام ١٩٣٠، بعض العلماء يعتقد أنه بسبب دفء الصوبة فإن متوسط منسوب البحر قد يرتفع بحوالى ٠,٣ متر وحتى ١,٤ متر بحلول عام ٢٠٣٠، وهذا يحتمل أن يسبب مشاكل كثيرة اقتصادية واجتماعية في المناطق الساحلية خلال كل العالم. منسوب سطح البحر قد يرتفع لأسباب كثيرة، بما فيها التمدد الحرارى لمياه البحر، وإذابة أنهار وأسطح الجليد القطبية، والتغيرات في إطار الترسيب وهطول الأمطار، والتغيرات في معدل البخر نحو الجو الدافئ. ارتفاع منسوب البحر سيزيد من مخاطر الفيضان للمناطق الساحلية المنخفضة والتي تشمل كثيراً من البلاد. ارتفاع منسوب سطح البحر يمكن كذلك أن يزيد من مشاكل تآكل الشاطئ وتغير شكل خط الشاطئ (Coastline). تغلغل مياه البحر نحو الأراضي الساحلية وكذلك نحو خزانات المياه الجوفية يمكن حدوثه كذلك.

الآثار المترتبة على دفء الأرض بالنسبة للنظام الإحيائي تشمل أساساً التأثير على نمو الغابات والزراعة. نمو النبات سوف يتأثر بزيادة مستويات ثاني أكسيد الكربون والذي يساعد على عملية التمثيل الضوئى ويقلل فقد المياه من التعرق والارتشاح (Transpiration). ولكن أى فائدة من زيادة منسوب ثاني أكسيد الكربون يمكن أن يعززه أو يعوضه بالتغيرات في المناخ التي يصاحبها تأثير دفء الأرض. التغيرات في الترسيب والمناخ يمكن أن تسبب العديد من الضغوط الجديدة للنظام الإحيائي للزراعة والغابات مثل الحشرات، الأمراض، الجفاف، أو الفيضان.

بالإضافة إلى التأثير على الزراعة والغابات، فإن دفء الصوبة يتوقع أن يكون له آثار أخرى. فمثلاً، زيادة درجة الحرارة والرطوبة قد تزيد فرص الأمراض في الإنسان والحيوان في بعض أجزاء من العالم. التأثيرات الطبيعية للدفء قد تتطلب ضبط تصميمات مسطحات الفيضانات، إمدادات المياه، كود المباني، والمشاريع الهندسية والمعمارية، وبعض الأماكن الهامة ذات التأثير على نمط حياة الإنسان.

جهود التحكم الدولية (International Control Efforts)

في عام ١٩٩٠ أوصى مؤتمر علماء الغلاف الجوي في جنيف أن كل الدول يجب أن تتخذ الخطوات الفورية لخفض انبعاثات غازات الصوبة، وقد أقرروا أن كثيراً من الدول الصناعية يمكنها أن تخفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بنسبة ٢٠% حتى عام ٢٠٠٥، باستخدام التكنولوجيا المتاحة بدون أن يتسبب ذلك في أعباء اقتصادية كبيرة في هذا الاجتماع وافقت كل الاثنى عشر دولة أوروبية على وضع الأهداف نحو خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، ولكن الولايات المتحدة الأمريكية (المسئولة عن أكثر من ٢٠% من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في العالم) وروسيا، والدول المنتجة للبترول مثل العربية السعودية شعروا أنه هناك حاجة لزيادة الأبحاث نحو دفع الأرض قبل اتخاذ القرارات النهائية.

في عام ١٩٩٢ عند انعقاد قمة الأرض في ريو دي جانيرو (Rio de Janeiro) تم توقيع معاهدة لإجبار الدول الصناعية بما فيها الاتحاد السوفيتي السابق لتثبيت انبعاثات غازات الصوبة عند مستويات ١٩٩٠ بحلول عام ٢٠٠٠. في عام ١٩٩٥ حيث عقد مؤتمر دفع الأرض في برلين، وافقت ١٢٠ دولة على مناقشة إلزام خطة زمنية للخفض الحقيقي للانبعاثات بعد عام ٢٠٠٠. وهذا الاتفاق الدولي سمي تفويض برلين (Berlin Mandate)، ودعا كذلك لإجراءات واضحة لخفض غازات الصوبة من الدول النامية.

وفي المؤتمر الدولي الذي عقد عام ١٩٩٧ في كيوتو باليابان، تم التوصل إلى اتفاق نحو زيادة التدقيق لخفض انبعاثات غازات الصوبة. الظاهرة الأساسية للاتفاق، سميت بروتوكول كيوتو (Kyoto Protocol)، هو وضع أهداف بجداول زمنية للحد من انبعاثات غازات الصوبة للدول النامية. الأهداف المحددة تختلف من دولة لأخرى ولكن أولئك ذوي القوة الصناعية العالية لأوروبا واليابان والولايات المتحدة فإنهم متشابهون. الخطة لدى الولايات المتحدة كمثال هي لخفض الانبعاثات لمستوى ٧% أقل من مستويات ١٩٩٠. أهداف الانبعاثات لمعظم غازات الصوبة يجب الوصول إليها خلال ميزانية خمس سنوات، للمساعدة لتقليل وسهولة التغيرات في الأداء الاقتصادي أو المناخ أي منهما الذي يمكنه تثبيت الانبعاثات في عام معين.

الفترة الزمنية الأولى للميزانية ستكون من عام ٢٠٠٨ حتى عام ٢٠١٢، أي أن هناك عقد كامل من الزمان قبل البدء في الزمن الملزم والذي سوف يوفر الوقت الكافي للشركات لعمل الانتقال لتعظيم كفاءة الطاقة وتحسين تكنولوجيات الحد من الانبعاثات.

الأنشطة التي تمتص الكربون مثل زراعة الأشجار سوف تؤخذ في الاعتبار عند الوصول إلى المستهدف من خفض الانبعاثات. تقدير دور الغابات في امتصاص ثاني أكسيد الكربون يعتبر حاسم نحو المسؤولية البيئية الكلية لدفع الأرض وتغير المناخ. وهي كذلك توفر للقطاع الخاص الفرص ذات التكلفة المنخفضة لخفض الانبعاثات.

الظاهرة الهامة الأخرى لبروتوكول كيوتو هي التجارة الدولية للانبعاثات (International Emissions Trading). مع تجارة الانبعاثات، يمكن للدول شراء الترخيص بالانبعاثات من أولئك الذين لديهم فرص أكثر من حاجتهم (لأنهم وصلوا إلى الأهداف With Room to spare). تنفيذ بروتوكول كيوتو يتطلب التصديق الرسمي لكل الدول المتضمنة. نظراً لأن التنفيذ سيكون له متطلبات اقتصادية فإن بعض الدول ستعترض على المساهمة الكاملة عن الأخرى. في الواقع، في ربيع ٢٠٠١ اعترضت الولايات المتحدة فجأة على قرارات كيوتو، أساساً بسبب أن الخطة لم تتضمن أي مواصفات لأخرين من بين أكبر المصادر الانبعاثات غازات الصوبة (الصين والهند). تأمين المساهمة البناءة في أي خطة لخفض الانبعاثات من الدول النامية (مثل التي سبق ذكرها) يظل أولوية هامة قبل حدوث التصديق للولايات المتحدة.

ما هو واضح رغم هذا، أن كل الدول تعرف الآن أهمية العمل نحو خفض الانبعاثات وتبطئ معدل دفع الأرض في أقرب وقت ممكن. من المتوقع أنه سيتم الموافقة على تعديل اتفاقية كيوتو في المستقبل القريب.

ابتكار تكنولوجيا للحد من دفع الأرض :

Innovative technology for controlling global warming

حالياً توجد فقط طريقتين للحد من دفع الأرض الناتج عن الأنشطة الأدمية. أحدها هو بتوفير مصادر بديلة للطاقة (مثل الطاقة الذرية أو الطاقة الشمسية)، والتي لا تنتج ثاني أكسيد الكربون، غاز الصوبة الرئيسي. الآخر هو الحد من استخدام الطاقة خلال جهود الصيانة والمحافظة على الطاقة باستخدام سيارات وأجهزة أكثر كفاءة. في الولايات المتحدة بدء العلماء قريباً في ارتياد استراتيجية ثالثة المسماة عزل الكربون (Carbon sequestration)، حيث يتم إزالة ثاني أكسيد الكربون من انبعاثات محطات إنتاج الطاقة بجهاز غسيل الغاز (Scrubbers) ثم حفظه، في شكل سائل مضغوط تحت الأرض أو تحت مياه المحيط. هذه التقنية الجديدة يمكن أن تكون مفيدة في المستقبل، وذلك

عند خفض تكلفة احتجاز ثاني أكسيد الكربون في أجهزة غسل الغاز وعندما يمكن حل التحديات البيئية المتعلقة بحفظه وتخزينه.

استنزاف أوزون الاستراتوسفير : Depletion of stratospheric Ozone

الأوزون (O_3) يلعب دوراً هاماً بالنسبة للكيمياء الغلاف الجوي في كل من التروبوسفير والاستراتوسفير. عند مستوى سطح الأرض يكون ملوثاً، ولكن أوزون الاستراتوسفير (عند ارتفاع ما بين ١٢ إلى ٣٠ كيلو متر) يكون حاسماً للحياة على الأرض. طبقة الأوزون في الاستراتوسفير تحتجز معظم الأشعة فوق البنفسجية الضارة الآتية من الشمس، وبذا يتم حماية النباتات والحيوانات.

منذ عام ١٩٨٥ عندما أعلن علماء الغلاف الجوي حول اكتشاف ثقب كبير في طبقة الأوزون فوق أنتركتيكا (Antarctica) وهي قارة غير مأهولة تقع حول القطب الجنوبي)، حيث زاد التحذير العام حول هذا الموقف في جميع أنحاء العالم. ثقب الأوزون والذي هو في الواقع منطقة مستنزفة للأوزون يبدو أنها تحدث كل عام من حوالي أغسطس إلى نوفمبر، تطوق مساحة تعادل كل مساحة قارة أنتركتيكا. رغم أن الثقب أقفل فيما بعد، ولكن الاستنزاف قصير الأمد والحاد للأوزون له تأثيره الذي شاع حول العالم. رغم أن إجمالي الفقد في الأوزون فوق أنتركتيكا لم يتضمن معدل الانخفاض، ولكن أظهرت القياسات انخفاض بطيء وثابت (حوالي ١% في العام) في كل مستويات الأوزون حول الكرة الأرضية منذ عام ١٩٧٠. مستويات الأوزون في الغلاف الجوي يتم قياسها دورياً بطريقة روتينية بواسطة أجهزة الاسبيكتروجراف (Spectrographic) على الأرض وكذلك بواسطة الأقمار الصناعية. الطاقة فوق بنفسجية من الشمس تمتص بواسطة جزيئات الأوزون قبل أن تستطيع الوصول إلى سطح الأرض، عند انخفاض تركيز الأوزون، فإنه يصل إلى سطح الأرض إشعاعات فوق البنفسجية أكثر. في الواقع فإن الأوزون يعمل كحاجز وقائي من الإشعاعات فوق البنفسجية. هذا يعتبر من الأمور الهامة نظراً لأن زيادة التعرض للأشعة فوق البنفسجية مرتبط بمرض سرطان الجلد، إعتام عدسة العين (Eye Cataract)، وانخفاض كفاءة جهاز المناعة. يمكن كذلك إحداث أضراراً لكثير من أنواع النبات والكائنات المائية عند زيادة التعرض للأشعة فوق البنفسجية. هذا بالإضافة إلى أن الإشعاعات فوق البنفسجية تتفاعل مع الفورمالدهايد في التروبوسفير، بما يضيف إلى أسباب تكوين الضباب الدخاني الكيميائي الضوئي (Photochemical Smog).

الأوزون هو أساساً جزئ غير مستقر، ويوجد اتزان رقيق بين تكوينه وإزالته في الاستراتوسفير. وهو يتكون باستمرار مع امتصاص الطاقة قصيرة الموجة فوق بنفسجية وفي نفس الوقت يتحول إلى الأكسجين الجزيئي بأنواع كثيرة من التفاعلات الكيماوية الضوئية (Photochemical Reactions). هذا الاتزان يتأثر بوجود مواد معينة وخاصة الكلور، الذي يسرع في معدل إزالة الأوزون.

أحد أهم العوامل المؤكدة التي تسبب استنزاف الأوزون يعود إلى وجود كيماويات عضوية في الجو تسمى الكلوروفلوروكاربون (Chlorofluorocarbons - CFC'S). مصدر غازات الكلوروفلوروكاربون يشمل عبوات التريزر الهوائية (Aerosol Spray Cans)، المبرادات، المذيبات الصناعية، عزل الرغوى. مادة CFC'S لا تتحلل بيولوجياً. وهى تظل في التروبوسفير لمدة زمنية طويلة قبل صعودها إلى أعلى نحو الاستراتوسفير، حيث تتحلل بواسطة الأشعة فوق البنفسجية. هذا التفاعل يطلق الكلور والذي يكون عندئذ متاحاً للعمل كعامل وسيط نحو تعجيل تدمير جزيئات الأوزون. فى سلسلة من التفاعلات الكيماوية الضوئية المعقدة، جزئ واحد من الكلور يمكن أن يدمر عدة مئات الآلاف من جزيئات الأوزون قبل أن يترك الاستراتوسفير.

عديد من النظريات تم اقتراحها بواسطة العلماء هى لماذا هذا الاستنزاف الحاد فى الأوزون فوق قارة أنتركتيكا. رغم أن الطبيعة الصحيحة لهذا الظاهرة مازال بحثها مستمراً، فالعلماء عموماً يعتقدون أن مادة الكلوروفلوروكاربون من المصادر فى نصف الكرة الشمالى تنتقل إلى أنتاركتيكا بواسطة دوران الاستراتوسفير (Stratospheric Circulation). بلورات الثلج الميكروسكوبية يظن أنها توفر أماكن للتفاعل حيث عندها الكلور من (CFC'S) يمكن أن يتفاعل مع الأوزون. تكنولوجيا استخدام أشعة الليزر المسمى ليدار (Called lidar) يستخدم كذلك بواسطة العلماء لدراسة كيف أن بلورات الثلج من الاستراتوسفير تتغير فى الحجم والشكل مع تكون ثقب الأوزون مع تصادم إشعاعات ليدار مع جزيئات الهواء، مع المقادير الضئيلة من الكيماويات وحبيبات الثلج، فإن جزءاً من الشعاع يتشتت إلى الخلف إلى مصفوفة من المكتشفات. أشعة ليدار يمكن أن تصل حتى ١٠٠ كيلو متر (٦٠ ميل) ويمكن أن تنتج خرائط ثلاثية الأبعاد لتصوير المكونات الكيماوية والخواص الطبيعية للغلاف الجوى خلال العام.

فى منتصف ١٩٧٠، عندما عرف لأول مرة أن (CFC'S) هو الذى يهدد بخطورة طبقة الأوزون، حيث كان يستخدم أكثر من ٢٠٠٠٠٠ طن من (CFC'S) كل عام فى

الولايات المتحدة فقط كمادة دافعة للأيروسولات. فى عام ١٩٧٠ طبقاً لميثاق الحماية من المواد السامة، فإن وكالة حماية البيئة (EPA) قيدت استخدام مادة (CFC'S) فى معظم استخدامات ترميز الأيروسولات، وعديد من المدن تبنت محاذير استخدام مادة (CFC'S). الانخفاض فى استخدام الأيروسول تم تعويضه بالزيادة فى استخدامات أخرى، متضمنة صناعة الفوم البلاستيك كمادة عزل.

فى عام ١٩٨٦ فى مؤتمر دولى فى مونتريال بكندا، وقع ممثلو أكثر من ٣٥ دولة بروتوكول مونتريال والذى يدعو إلى خفض ٥٠% من إنتاج الكلوروفلوروكربون (CFC'S) بعام ١٩٩٨. وفى الولايات المتحدة انتهى إنتاج (CFC'S) فى عام ١٩٩٥، ولكن الكيماويات يمكن أن يظل استخدامها فى المعدات الموجودة. بعض الناس يعتقد أن الإبعاد الكامل لكل المواد المسببة لاستنزاف الأوزون يجب أن يوضع كهدف. ولكن التقييد الكلى لاستخدام (CFC'S) سوف يؤثر على نمط الحياة فى كثير من الدول النامية. التبريد أصبح ضرورة، بالإضافة إلى رفاهية أجهزة التكييف فى المساكن والسيارات. كما أن التقييد الكلى لاستخدام هذه المادة يمكن أن يؤثر على محاولات الدول النامية فى تحديث صناعاتها ورفع مستوى المعيشة. لهذا السبب فإن حكومات كثير من الدول النامية تعارض التنفيذ الكامل للمنع عدا فى حالة وجود دعم مالى للتعويض عن نقص (CFC'S).

البدائل الآمنة بيئياً لمادة الكلوروفلوروكربون لأغراض التبريد والعزل الحرارى متاحة ويجب استخدامها، أو أن يتم التغيير لنمط الحياة. التأخير نحو الحد من استخدام مادة الكلوروفلوروكربون يمكن أن يكون له عواقب وخيمة فى المستقبل، وكثيراً من علماء الغلاف الجوى يعتقدوا أن خفض الكبير فى مادة (CFC'S) مطلوب بالإحاح لمنع استمرار إتلاف طبيعة الأوزون.

ترسيب الحامض : (Acid Deposition)

منذ عام ١٩٧٠ جذب انتباه العالم المشكلات المصاحبة بالترسيب الحمضى الذى يسمى المطر الحمضى حيث يعتقد أنه دمر وأتلف حياة الأسماك والنبات فى آلاف البحيرات خلال وسط وشمال أوربا (وخاصة فى إسكنديناويا)، وشمال الولايات المتحدة، وجنوب كندا وأجزاء من الصين. كثير من سلاسل الغابات خلال هذه المناطق قاربت على التلف بشكل كبير بسبب حموضة التربة.

المطر الحمضي يسبب كذلك تقوياً وتآكلاً للمعادن وإتلاف الأسطح المغطاة بالطلاء، الخرسانة، الحجر الجيري، والرخام في المباني والجبال والمشغولات الفنية والأغراض المعرضة الأخرى.

حموضة السائل تقاس بمقياس (pH) اللوغاريتمى الذى يتراوح من صفر إلى ١٤، حيث pH ٧ تكون حالة التعادل، pH الأعلى تكون قلوية، الأدنى تكون حامضية. مياه الأمطار هي حامضية بطبيعتها حتى في المناطق البعيدة عن الأنشطة الأدمية، ذلك لأن ثانى أكسيد الكربون الموجود في الجو يتفاعل مع بخار الماء ليكون حامض الكربونيك (H_2CO_3). نتيجة لذلك فإن pH حوالى ٥,٦ تعتبر عادة أنها تمثل خلفية لحموضة مياه الأمطار في البيئة الأصلية النقية. المطر الحمضي عندئذ يمكن تعريفه بمياه الأمطار ذات pH (رقم هيدروجينى) أقل من ٥,٦ الناتج عن تلوث الهواء بسبب الأنشطة الأدمية.

الدراسات العلمية الحديثة أظهرت أنه في مناطق حضرية وصناعية معينة أن الرقم الهيدروجينى (pH) المتوسط لمياه الأمطار أقل من ٤,٥. في أجزاء من شمال كاليفورنيا، يكون للضباب الحمضى رقم هيدروجينى أقل من ٣، رقم هيدروجينى ٢,٢ (بنفس حموضة الخل) ثبت وجوده أثناء هبوط الأمطار في اسكتلندا عام ١٩٧٤. نظراً لأن مقياس الرقم الهيدروجينى (pH) لوغاريتمى، فإن الانخفاض برقم واحد هيدروجينى يمثل عشرة أضعاف زيادة في الحموضة، انخفاض اثنين في الرقم الهيدروجينى يمثل زيادة في الحموضة مقدارها مائة ضعف وهكذا. مياه الأمطار ذات رقم هيدروجينى ٣,٦ كمثال تكون ١٠٠ مرة زيادة في الحموضة عن مياه المطر الطبيعية النظيفة.

المطر الحامضى يكون بسبب انبعاث أكاسيد الكبريت والنيتروجين في الجو، غالباً نتيجة حرق الوقود الحفرى لإنتاج الطاقة الكهربائية. المصادر الأخرى من الأنشطة الأدمية تشمل عمليات صناعية معينة والسيارات التى تعمل بالجازولين. يتفاعل ثانى أكسيد الكبريت مع بخار الماء في الهواء ليكون حامض الكبريتيك وأكسيد النيتروجين يتفاعل مع بخار الماء ليكون حامض النيتريك. لقد وجد أن مساهمة ثانى أكسيد الكبريت يمكن أن يظل كجسيمات رقيقة ويرسب خارج الهواء في الشكل الجاف. تعبير ترسيب الحامض (Acid Deposition) يستخدم لوصف التأثير الكلى لكل من الترسيب الجاف والرطب عند مستوى الأرض عند وصول المواد الحامضية سطح البيئة. الذى له تأثير ملحوظ على البيئة هو التراكم طويل المدى لرسوب الحامض وليس حوادث سقوط المطر الفردية. ترسيب الحامض في شكل ثلوج (حيث قيس الرقم الهيدروجينى من مياه الثلج المسال) هو

كذلك له صلة بالارتفاعات العالية، وخاصة عندما يذوب فإنه يسبب انخفاض مفاجئ في الرقم الهيدروجيني لإمدادات المياه.

الأثر البيئي الرئيسي لترسيب الحامض هو خفض الرقم الهيدروجيني في البحيرات والأنهار. في ولاية نيويورك كمثال الرقم الهيدروجيني (pH) للبحيرات (In the Adirondacks) كان بمتوسط ٦,٧ في عام ١٩٣٠، ولكنه انخفض إلى ٥,١. معظم الكائنات المائية حدث لها اضطراب مع انخفاض الرقم الهيدروجيني. الحموضة لها أثر مدمر على دورة التكاثر للأسماك، عندما يكون الرقم الهيدروجيني أقل من ٤,٠ فإن تكاثر معظم الأسماك يصبح غير متوقع. حموضة الجزر الميتة تكون أقل من ٣,٥ (pH).

يتأثر الرقم الهيدروجيني للبحيرات المستقبلية للترسبات الحامضية بوجود عوامل الدري (Buffers) في الماء. عوامل الدري يمكنها معادلة الحامض والمحافظة على ثبات الرقم الهيدروجيني، بالرغم من إضافة مواد حامضية إلى السائل. مثال لذلك فإن كربونات الكالسيوم هي العامل دري طبيعي والتي هي من الحجر الجيري. البحيرات، المجاري المائية، والبرك ذات القاع من الحجر الجيري أو رواسب التربة عادة يكون لها قوة دري عالية للمطر الحمضي بسبب وجود كربونات الكالسيوم في الماء. ولكن طاقة الدري في كثير من المسطحات المائية يمكن أن تستنفذ بسبب تفاعل الحامض مع كربونات الكالسيوم. في بعض البحيرات ذات طاقة دري طبيعية قليلة يمكن خفض تأثير الترسيب الحمضي بإضافة الحجر الجيري إلى الماء.

توجد علاقة مباشرة بين ترسيب الحامض والصحة العامة، حيث المياه ذات الرقم الهيدروجيني أقل من ٤,٥ نتيجة ترسيب الحامض يمكنها أن تسبب التآكل في المواسير والذي قد يسبب وجود المعادن الثقيلة في مياه الشرب والتي تكون من نواتج التآكل. تراكم المعادن السامة مثل الزئبق والكاديوم في السلسلة الغذائية قد يكون كذلك بسبب ترسيب الحامض. العامل الذي يعقد مشكلة المطر الحمضي وبما يجعل البحث عن حل من الأمور الصعبة هو مستواه الإقليمي والقاري. معظم أكاسيد الكبريت والنيتروجين المنبعثة من المداخل العالية في محطات الطاقة لزيادة الانتشار وتخفيف للغازات العادمة، حيث ذلك يمكن أن يوفر الحماية للتجمعات القريبة من التأثيرات الفورية لتلوث الهواء، ولكن هذا الصريف من المداخل الطويلة يسمح بحمل الملوثات لمسافات طويلة في الجو. الملوثات تطير في الفضاء إلى أقاليم أخرى أو حتى إلى قارات أخرى. فلقد قدر أن ٥٠% من المطر الحمضي في شرق كندا يأتي من الولايات المتحدة، وأن حوالي ٢٥% من المطر الحمضي في إقليم نيو إنجلاند في الولايات المتحدة يأتي من مصادر كندية. بالإضافة أن

المطر الحمضي في النرويج يعتقد أنه يأتي معظمه من المناطق الصناعية في بريطانيا والقارة الأوروبية.

عبور الملوثات خلال الحدود السياسية :

قانون الهواء النظيف لعام ١٩٩٠، أعلن هنا الإصدار بوضع حدود سنوية على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من محطات القوى عند ٨,٩ مليار طن بعام ٢٠٠٠ مع العمل على خفض انبعاثات أكسيد النيتروجين كذلك. تم كذلك تنشيط المشروعات البحثية والحوافز الاقتصادية للصناعة. الحوافز الاقتصادية شملت السماح ببيع أرصدة الانبعاثات (Emission Credits). عندما يخفض المنتج للانبعاثات ما ينتجه من انبعاثات إلى أقل من الحد المقرر، فإنه يمكن بيع الفرق كرصيد دائن لشركة أخرى أو لمحطة طاقة التي تخطط للتوسع. الرصيد يمكن أن يساعد في خفض بعض من تكاليف تلك الشركة لإقامة معدات جديدة للحد من التلوث. الأبحاث لتخفيف من حدة مشكلة المطر الحمضي شملت برنامج ٥ مليار دولار (بدأ في عام ١٩٨٦ بمشاركة جهود كندا والولايات المتحدة نحو تطوير تكنولوجيا نظيفة لحرق الفحم).

٥- نوعية الهواء داخل المبنى : (Indoor Air quality)

حتى منتصف عام ١٩٨٠ كان الاهتمام بتكنولوجيا الحد من تلوث الهواء خارج بيئة المبنى. في ذلك الوقت، أصبحت المخاطر الصحية المرتبطة بتلوث الهواء داخل المبنى ذات أهمية. بالإضافة إلى أن معظم الناس يمكثون معظم أوقاتهم (حتى ٩٠%) داخل المبنى، سواء في المنزل أو في العمل. هذه الحقيقة مع زيادة إجراءات المحافظة على الطاقة (بعد مفاجأة خفض زيت البترول في سبعينات القرن الماضي)، شد انتباه علماء البيئة نحو تلوث الهواء داخل المبنى وكذلك اهتمام المسؤولين عن الصحة العامة. إجراءات المحافظة على الطاقة تعمل على خفض معدلات تبادل الهواء، بما يعمل على تراكم ملوثات الهواء. ولذا فإن المباني يمكن أن تكون تلوثاً أكثر من خارج المبنى.

تبادل الهواء : (Air Exchange)

الهواء خارج المبنى يدخل ويخرج بثلاث طرق وهي التسرب (Infiltration)، التهوية الطبيعية، التهوية عنوة (Forced). التسرب يعني تبادل الهواء الذي يحدث عندما تكون الشبابيك والأبواب مغلقة، الهواء يتسرب خلال الشقوق، الوصلات، الثقوب في حالة وجودها في الجدران. معدل التسرب العادي في منازل الولايات المتحدة يتراوح ما بين

٠,٥ إلى ٤,٠ تغير الهواء في الساعة. المباني الجديدة لها معدلات قريبة إلى المعدل الأقل والمباني القديمة لها معدلات قريبة من المعدل الأعلى. معدل تبادل الهواء يساوى واحد يعنى أن كل هواء المنزل يستبدل بالهواء الخارجى خلال ساعة واحدة.

فى حالة المنازل التى يتم تبريدها أو تدفئتها فإنه يتم فقد كمية كبيرة من الطاقة بسبب التبادل بالتسرب للهواء الداخلى مع الهواء الخارجى. يمكن خفض معدلات التسرب أو إحكامها باستخدام مواد الإنشاء المناسبة وتقنيات العزل، وهذه أصبحت وسائل المحافظة على الطاقة فى إنشاءات المباني الجديدة. ولكن انخفاض معدل التسرب يمكن أن يعقد المشكلة المتعلقة بنوعية الهواء الداخلى.

فى حالة التهوية الطبيعية فإن الهواء يدور خلال الأبواب والشبابيك. كلا من التسرب والتهوية الطبيعية يكون بسبب الفرق فى درجات الحرارة داخل وخارج المبنى وكذلك بسبب الرياح. معدلات التهوية الطبيعية أعلى من معدلات التسرب تحت نفس ظروف درجة الحرارة والرياح.

التهوية عنوة (Forced Ventilation) باستخدام المروحة أو النافخ (Blower) يمكن أن يوفر أعلى معدل لتبادل الهواء. التهوية عنوة (الميكانيكية) يمكن أن تكون متقطعة لإزالة الهواء من غرفة واحدة مثل المطبخ أو مستمرة حيث تزيل الهواء داخل المبنى وتوزيع الهواء الخارجى المرشح والمكيف خلال المبنى والمنزل.

كلا من التسرب والتهوية يعملان على تخفيف وإزالة ملوثات الهواء داخل المنزل. عندما لا يوجد ما يكفى من التسرب، التهوية الطبيعية، التهوية عنوة فإن معدلات تبادل الهواء تكون منخفضة ومستويات التلوث تميل نحو الزيادة. فى بعض الحالات يكون استخدام المنظفات الهوائية (Air Cleaners) مؤثراً لإزالة جسيمات الملوثات.

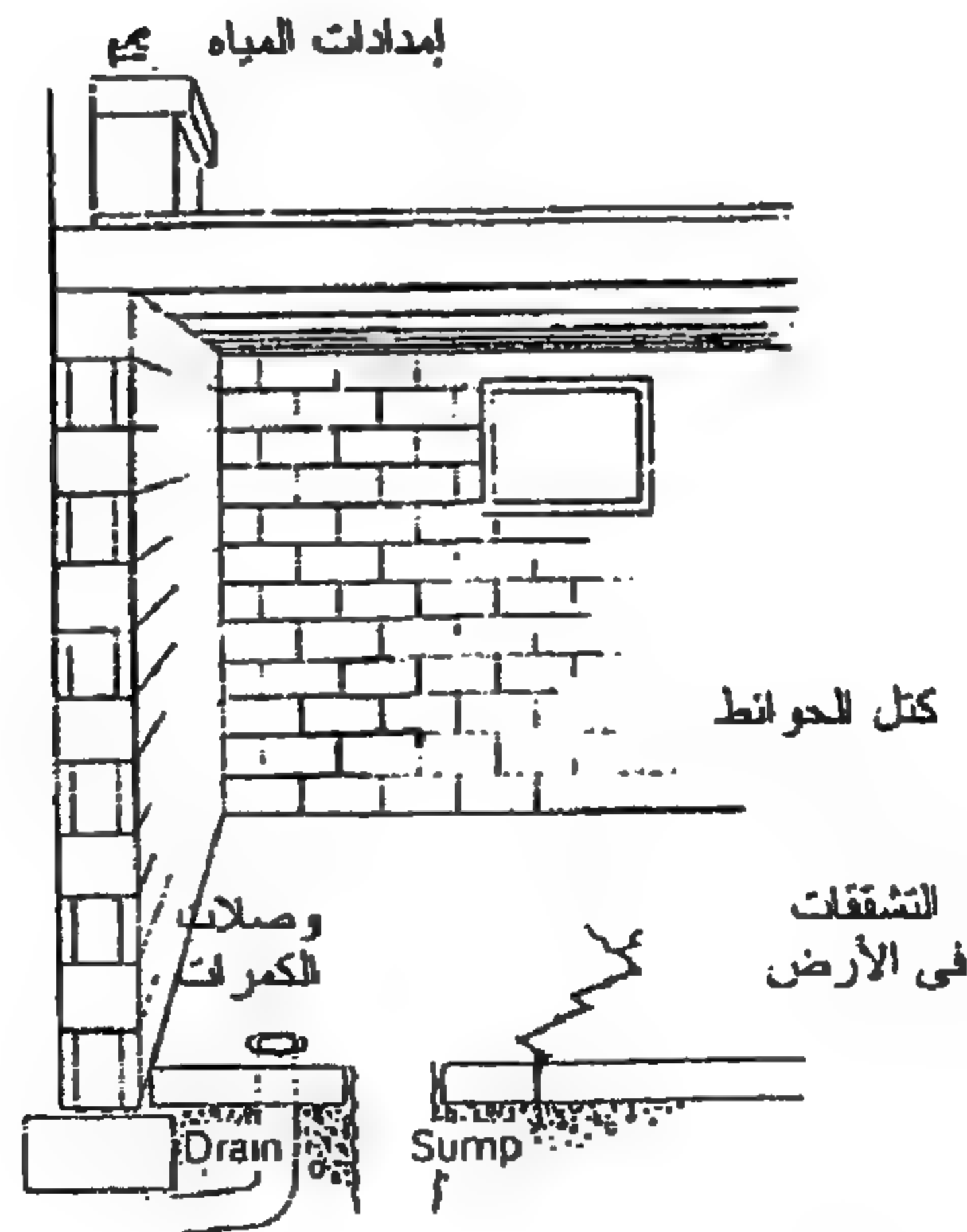
الملوثات داخل المبنى : (Indoor pollutants)

توجد مصادر كثيرة لملوثات الهواء داخل المبنى. نواتج الاحتراق خاصة دخان التبغ يعتبر مصدراً هاماً لتلوث الهواء. والرادون (Radon)، والذي ينتج باستمرار من التحلل الإشعاعى الطبيعى لمادة الراديوم التى توجد فى التربة وفى الصخور والذي يعتبر كذلك من ملوثات الهواء الداخلية المؤثرة. ملوثات الهواء الداخلية الأخرى هى الأسبستوس، الكيماويات العضوية من المنتجات للاستخدام المنزلى، الفورمالدهايد، الرصاص، المواد البيولوجية.

نواتج الاحتراق :

دخان التبغ هو ظاهرة لتلوث الهواء من الاحتراق الذي يحدث كثيراً داخل المبنى ذلك رغم التحذيرات نحو الآثار الصحية الخطيرة. دخان التبغ عبارة عن خليط أكثر من ٤٠٠ مركب، ما لا يقل عن ٤٠ نوع منهم مسبباً لمرض السرطان. وكثيراً منهم مسبب قوى للهيّاج والإثارة (Irritant). دخان التبغ داخل المبنى يمكن أن يسبب الضرر للسكان بالإضافة للمداخن.

البيئة الخارجية للمبنى. ولكن عند دخول غاز الرادون المبنى خلال الفتحات أو الوصلات أو الشقوق فإنه يمكن أن يتراكم. يمكن أن يتراكم تركيز الرادون داخل المبنى إلى مستويات عالية جداً عداً في حالة اتخاذ الإجراءات لمنع دخوله أو تراكمه. الرادون يمكن كذلك أن يوجد في المياه الجوفية في بعض المناطق، حيث يمكن أن ينطلق في الهواء الداخلي عند استخدام الماء للأغراض المنزلية. الطرق الرئيسية لدخول الرادون إلى المبنى موضحة في الشكل (٦/٩).



شكل (٦/٩) أماكن دخول الرادون

الرادون حامل كيميائياً ولكنه يتحلل إلى نواتج كيميائية نشطة والتي تسمى (Radon Progeny) والذي يلتصق بسهولة مع الجسيمات في الهواء. المخاطر على الصحة العامة المتعلقة بالرادون، سرطان الرئة، الذي يعتبر سببه الرئيسي هو استنشاق الجسيمات

الملتصقة بنواتج الرادون. التحلل التالى لنواتج الرادون (Radon Progeny) يطلق الإشعاع الذى يدمر نسيج الرئة. درجة الخطورة تتوقف على زمن التعرض الكلى ومتوسط تركيز الرادون فى المبنى. استنشاق خليط من كل من الرادون ودخان التبغ يعمل على زيادة الخطورة على الصحة العامة. لقد قدرت وكالة حماية البيئة (EPA) أنه ما بين ٥٠٠٠ إلى ٢٠٠٠٠ وفاة بسبب سرطان الرئة سنوياً فى الولايات المتحدة يرجع إلى التعرض الداخلى للرادون.

يوجد تجهيزين يستخدمان لقياس تركيز الرادون .

دخان التبغ : يعتبر تدخين غير مباشر والتعرض له يسمى عادة التدخين السلبي (Passive Smoking). لقد استتجت وكالة حماية البيئة فى عام ١٩٩٢ أن التعرض لدخان التبغ مسئولاً عن حوالى ٣٠٠٠ حالة وفاة سنوياً بسبب سرطان الرئة للغير مدخنين. التعرض لدخان التبغ لمدة طويلة مع التعرض للرادون يعتبر شديد الخطورة. التأثيرات الصحية للتعرض القصير لدخان التبغ يشمل تهيج العين، والأنف والحنجرة. الأطفال الصغار واليافعين وخاصة الأطفال المصابين بالربو يكونون أكثر تأثراً بمخاطر دخان التبغ فى الوسط البيئى. من الواضح أن الطريقة المناسبة هى تجنب أو التخلص من التدخين للتبغ داخل المبنى. وفى حالة عدم إمكان تجنب التدخين للتبغ داخل المبنى فإن زيادة معدل التهوية بواسطة النوافذ المفتوحة أو شفاطات التفريغ سوف يقلل ولكنه لا يبعد التعرض لدخان التبغ.

بالإضافة إلى التدخين السلبي (Second Hand Smoke)، فإن المصادر الأخرى للاحتراق داخل المبنى تشمل المواقد، الدفايات والمداخن.. الخ. الملوثات من هذه المصادر تشمل أول أكسيد الكربون، ثانى أكسيد النيتروجين، الجسيمات والتى هى كذلك من الملوثات الرئيسية خارج المبنى. مواقد الكيروسين يمكن كذلك أن تبعث ثانى أكسيد الكبريت ورذاذ حامض (Acid Aerosols). فى المجال البيئى المغلق حيث لا يوجد دخان تبغ فإن مستوى الجسيمات العالقة أصغر من ١٥ ملليمكرون يمكن أن يكون صفر مليجرام/ المتر المكعب. مع دخان التبغ فى المجال البيئى فإن مستوى الجسيمات قد يقترب من ٧٠٠ ملليمكرون على المتر المكعب والذى يزيد كثيراً عن المستوى القياسى لوكالة حماية البيئة. الخطوات نحو خفض التعرض لنواتج الاحتراق داخل المبنى تشمل استخدام شفاطات التفريغ (Exhaust fans) فوق مواقد الغاز لإعداد الطعام، التفتيش ومراجعة الغازات العادمة من الأفران والمداخن سنوياً.

الرادون : (Radon)

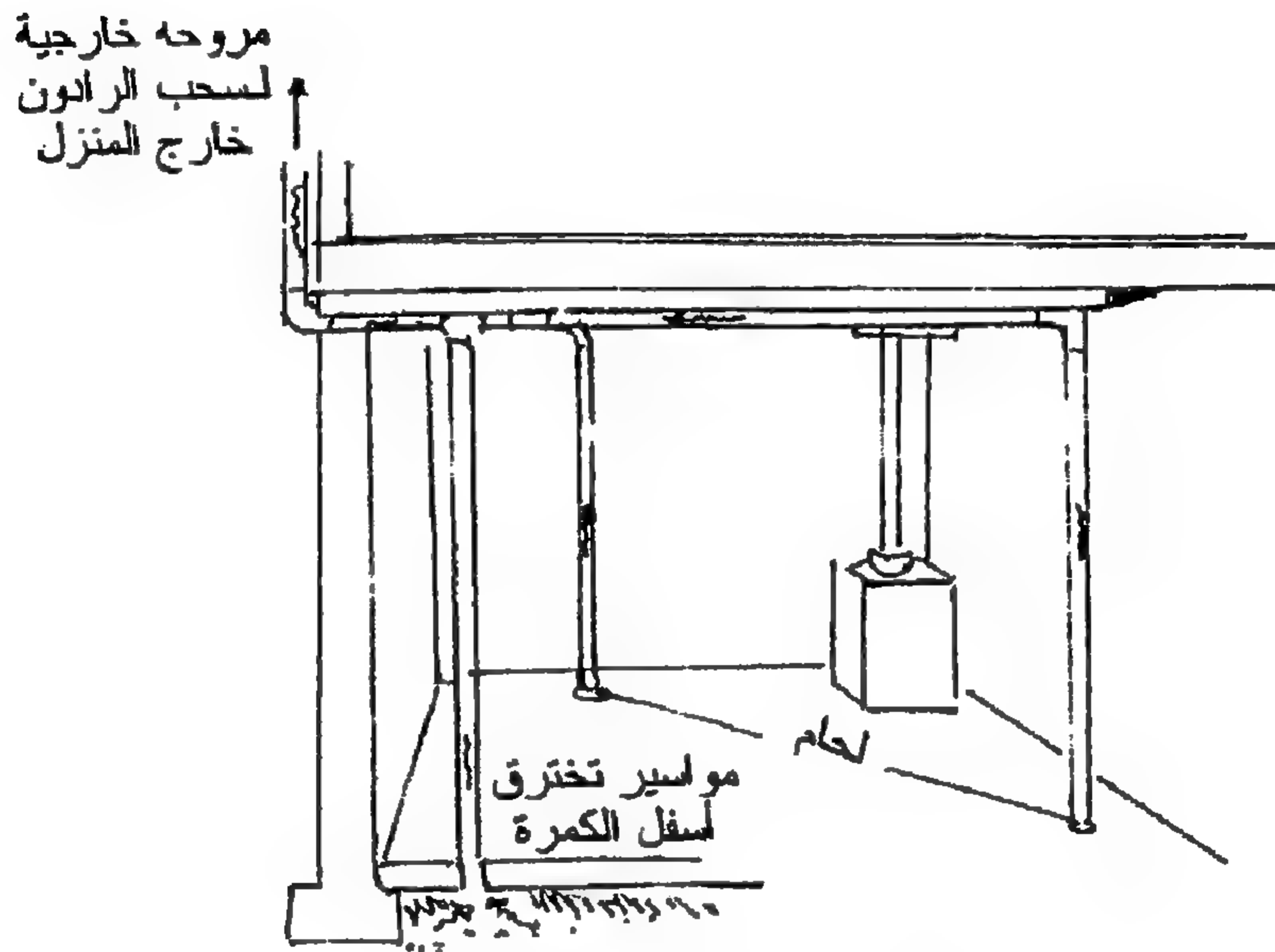
الرادون هو غاز مشع لا لون له ولا رائحة وهو جزء من عملية التحلل الطبيعي التي تبدأ باليورانيوم والراديوم. وهو يوجد بتركيزات مختلفة في التربة والصخور التي تشكل القشرة الأرضية. نظراً لأنه غاز فإن الرادون ينساب بسهولة خلال التربة المسامية والشقوق الصخرية. عند وصوله إلى سطح الأرض فإن الغاز يتشتت وينتشر ويتم تخفيفه إلى تركيزات منخفضة جداً في متقبة التي تحتوي على الفحم النباتي أو الحيواني (Charcoal) لمتنص أو تصفى سموم الهواء والتي تسمى (Charcoal Canister)، ومكتشف مسار ألفا (Alpha Track Detector). علبة حبيبات الفحم المتقبة توفر نتائج سريعة (٣ إلى ٧ يوم) مقارنة بمكتشف مسار ألفا (٣٠ إلى ٩٠ يوم) وهو أكثر استخداماً. يقدر تركيز الرادون بوحدات بيكوري في اللتر (Pci/L - Picouries/Litre). الكوري (Ci) هو وحدة الإشعاع الأساسية والتي تقابل تقريباً معدل التحلل لواحد جرام من الراديوم. واحد بيكوكوري وهو أصغر وحدة يقابل لتحلل حوالي ذرتين في الدقيقة (البيكو = 10^{-12}). يمكن كذلك التعبير عن تركيزات الرادون بمستوى الشغل (Working Level) حيث مستوى الشغل قيمته واحد يساوي ١٠٠ بيكوكوري/التر. مستويات الشغل مرتبطة تاريخياً ببيانات سرطان الرئة لعمال المناجم تحت الأرض، حيث كثير من المعلومات المتعلقة بتأثيرات الرادون داخل المباني وتأثيراته تم تقديرها.

طرق العلاج لخفض التعرض للرادون داخل المبنى متاحة. لقد وضعت وكالة حماية البيئة مستوى مقرر لعملية العلاج عند ٤ بيكوكوري/التر، مجتمعات أخرى مثل كندا وفنلندا لم توص بعمليات للعلاج إلا في حالة وصول مستويات الرادون لأكثر من ٢٠ بيكوكوري/التر. كل العلماء وافقوا على أن التعرض للمستويات العالية ولمدة طويلة من الرادون يشكل خطورة، ولكن يظل عدم التأكيد نحو مخاطر التعرض للمستويات المنخفضة. لا توجد علاقة مؤكدة بين سرطان الرئة والرادون في المنازل في الدراسات العالمية.

بالنسبة للرادون في المياه الجوفية، المشكلة ليست في شرب الماء، ولكن في استنشاق الغاز المنطلق. مستوى ١٠٠٠٠ بيكوري للرادون في الماء سوف ينتج حوالي واحد بيكوري/التر للرادون في الهواء داخل المبنى. طبقاً لقانون مياه الشرب الآمنة فإن أقصى مستوى تلوث من الرادون هو ٣٠٠ بيكوري/التر. يمكن الإزالة السريعة للرادون من الماء بالتهوية أو بالترشيح باستخدام الفحم النباتي أو الحيواني المنشط. توجد طريقتان

لخفض مستويات الرادون داخل المبنى وهما خفض دخول الرادون إلى المبنى وإزالة الرادون بعد دخول المبنى. دخوله الرادون يمكن خفضه بعدة طرق. أحدهم هو بتغطية التربة المعرضة وقفل جميع الفتحات والوصلات والشقوق والفتحات الأخرى أسفل أو أعلى المنشأ.

طريقة أخرى هي بإنشاء لوح ثانوى (Subslab) ونظام محيطى لتهوية التربة. هذا النظام يعكس الاتجاه السائد لتدفق الهواء والذي يجرى بالرادون نحو المنزل. مقطع فى اللوح الثانوى موضح فى الشكل (٦/١٠).

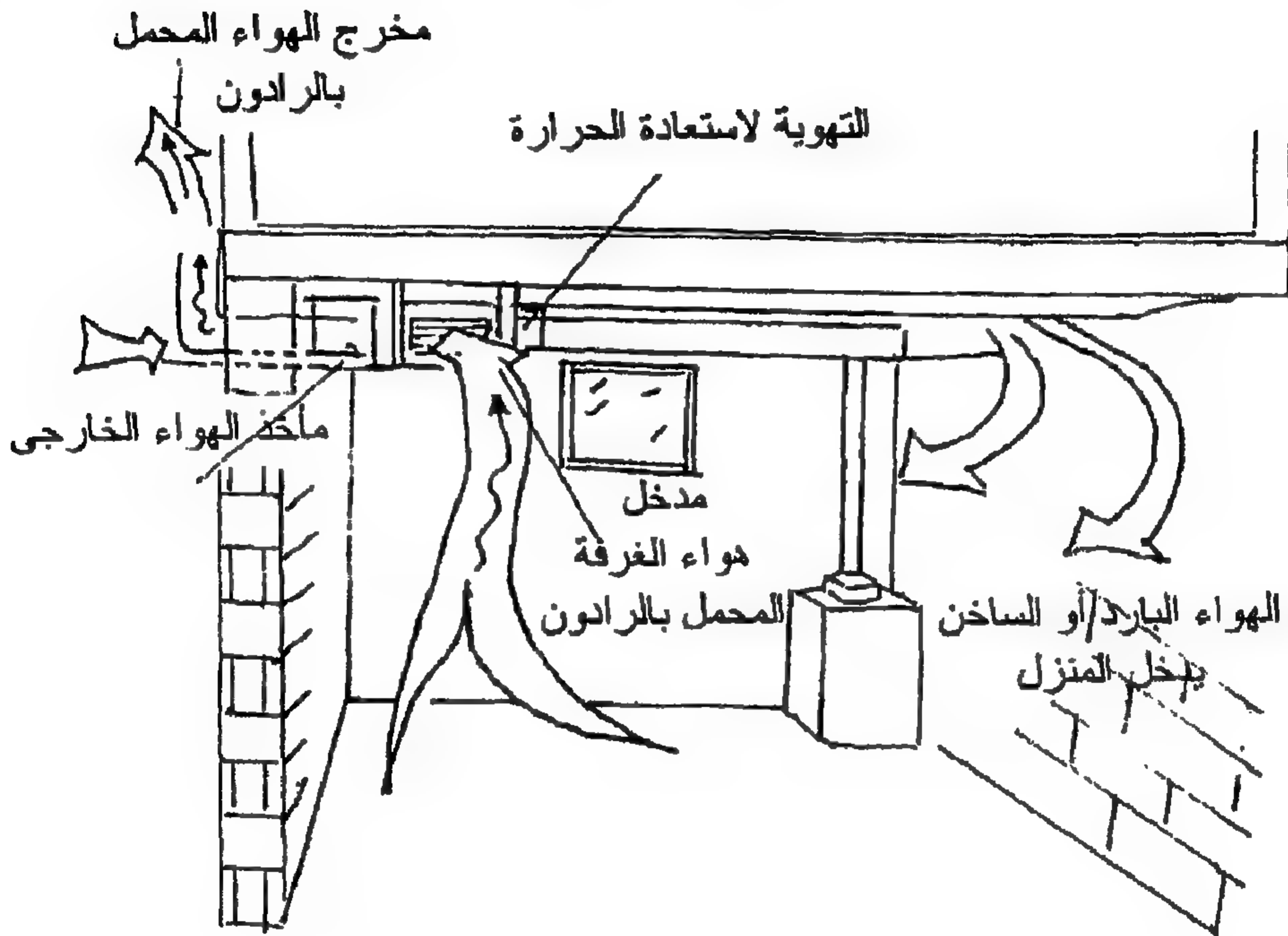


شكل (٦/١٠) التهوية أسفل البلاطة

الطرق الأخرى نحو خفض دخول الرادون تشمل تجنب استخدام مواد البناء التى يمكن أن تحتوى على الراديوم وإزالة الرادون من إمدادات مياه الشرب باستخدام التهوية أو الترشيح بالكربون المنشط. الطريقة المؤثرة لإزالة الرادون بعد دخول المنزل هي التهوية لمكان المعيشة الذى تأثر. التهوية بالهواء الخارجى يمكن أن يخفض مستويات الرادون داخل المبنى إلى حد كبير. إذا كانت مستويات الرادون ليست مرتفعة، فإن التهوية الطبيعية تكون كافية لإبعاد التلوث بالرادون.

التهوية عنوة تعتمد على استخدام مراوح لزيادة معدلات تبادل الهواء فى المبنى وذلك بدفع الهواء الخارجى إلى الداخل. التصميم الماهر، العزل، واختيار نظام التهوية بعنوة يكون لازماً لتأكيد أن نقط دخول الهواء ونقط سحب العادم فى اتزان، بخلاف ذلك يمكن

سحب رادون إضافي. استخدام التهوية سواء طبيعية أو عنوة تتحدد طبقاً لزيادة تكاليف الطاقة اللازمة للتسخين أو التبريد للمحافظة على ظروف المعيشة المريحة داخل المنزل. هذه المشكلة يمكن تخفيفها باستخدام التهوية باستعادة الحرارة كما هو موضح في الشكل (٦/١١). هذا النظام يسمى كذلك مبادل حراري للهواء بالهواء، حيث تستخدم الحرارة في الهواء الخارجى لتدفئة الهواء الداخلى، ويمكن عكس العملية في حالة تكييف هواء المنزل في المناخ الحار. التهوية باستعادة الحرارة يمكن أن تقلل من استهلاك الطاقة بشكل كبير.



شكل (٦/١١) تهوية استعادة الحرارة

الأسبستوس :

الأسبستوس هو مادة توجد في الطبيعة تتكون من مركبات الأملاح المعدنية واستخدمت كمادة عزل ولمقاومة الحرائق في المباني. كثيراً من منتجات الأسبستوس تم إيقافه حيث أصبح استخدامه الآن محدوداً. في المباني القديمة مازال الأسبستوس موجوداً في المواسير وعزل الأفران، وفي ألواح الأسبستوس لأسقف المظلات وفي بلاط الأرضيات وفي بعض أنواع البويات ومواد الإنشاء الأخرى. في حالة محاولة قطع هذه المواد، أو ترميمها أو أى أنشطة أخرى فإنه يمكن حدوث معدلات عالية لتركيزات الأسبستوس في الهواء. المحاولات الغير متقنة لإزالة هذه المواد يمكن أن تمكن شعيرات

الاسبستوس من الدخول إلى المبنى مع الهواء. كخطوط إرشادية فإن متوسط مستويات الاسبستوس يجب ألا تزيد عن ٠,١ شعيرة في اللتر وذلك للشعيرات أطول من ٥ ملليمكرون.

في حالة استنشاق شعيرات الاسبستوس الصغيرة جداً فإنها تتراكم في الرئة. الآثار الضارة بالصحة يمكن أن تستغرق عدة سنين لتحدث وتشمل ندبات في الرئة وسرطان للصدر، وسرطان الرئة.. الخ.

معظم الأمراض المرتبطة بالاسبستوس تكون بالتعرض المهني، لتركيزات عالية من الشعيرات، ولكن المستويات العالية يمكن أن توجد كذلك في المنزل. نظراً لأنه لا توجد خطورة من الاسبستوس إلا في حالة حمل الشعيرات بالهواء الجوى، فإنه ينصح بتترك مواد الاسبستوس كما هي أو بالتعامل معها عند الضرورة بواسطة مقاول مؤهل.

المواد العضوية من المنتجات المألوفة في المنزل :

الكيمائيات العضوية تستخدم على نطاق واسع كمكونات للبويات والورنيشات، المواد الشمعية، مواد النظافة، مستحضرات التجميل، المبيدات للحشرات، مواد اللهب، ومنتجات أخرى تستخدم في المنزل. كلها يمكن أن تطلق مركبات عضوية في الهواء عند استخدامها وإلى حد ما عند تخزينها. من بين المنتجات المألوفة في المنزل هذه يوجد النتراكلوروايثيلين، الميثيلين كلورايد، (Paradichlorobenzene) بالإضافة إلى العديد من الكيمائيات الضارة. الآثار الصحية تختلف كثيراً طبقاً لمستوى التعرض وطول وقت التعرض. بعض من هذه المواد شديدة السمية أو مسرطنة، والبعض الآخر له تأثير على الصحة العامة. حساسية العين والجهاز التنفسي، الصداع، الدوار، مشاكل الإبصار، وضعف الذاكرة هذه من بين الأعراض التي تحدث بعد التعرض لبعض المواد العضوية.

الاستخدام المنزلي للمبيدات هو مصدر للمواد العضوية في الهواء الداخلي. المبيدات المستخدمة عادة تشمل المنتجات المقاومة للذباب والحشرات، الفطريات، القوارض مثل الجرذان، النمل الأبيض. وهذه تباع في شكل عبوات للرش (Spray)، أو في شكل سائل، أو مسحوق أو بللورات صلبة. كل هذه المنتجات خطيرة في حالة عدم استخدامها بحذر. منظمة حماية البيئة (EPA) طالبت منتجي المبيدات بوضع المعلومات على ملصقات بالنسبة للاستخدام الآمن. لقد انتهى السماح باستخدام الكلوردين، الألدرين، الداى ألدرين، الهبتاكلور للاستخدام المنزلي والتجاري.

الفورمالدهايد :

الفورمالدهايد هو من الكيماويات العضوية المستخدمة في كثير من مواد البناء ومنتجات أخرى منزلية. وهو كذلك من بين نواتج الاحتراق الثانوية وقد يكون موجودا بكميات ملحوظة في الهواء داخل المبنى.

وهو يستخدم كمثال لإضافة نوعية الانضغاط المستمر أى التجعد لبعض المنسوجات (Drapes)، وكمكون للغراء ومواد اللصق، وكمادة حفظ لبعض البويات ومواد التغطية. من بين أهم المصادر المألوفة في المنزل للفورمالدهايد هي منتجات الخشب المضغوط الذى تصنع باستخدام مواد اللصق المحتوية على راتنج اليوريا فورمالدهايد.

الفورمالدهايد هو غاز لا لون له وذو رائحة حادة التى يمكن أن تسبب حساسية للعين والحنجرة، غثيان مثل دوار البحر، ضيق التنفس لبعض المعرضين للتركيزات العالية. لقد ثبت أنه مسرطن للحيوانات وأنه يمكن أن يكون مسرطناً للإنسان. متوسط التركيزات في المنازل القديمة (الانبعاثات تتخفض عموماً مع الوقت) هي عموماً أقل من ٠,١ ملجرام/المتر المكعب. في المنازل الموجودة بها كميات كبيرة من الخشب الجديد المضغوط فإن المستويات قد تزيد عن ٠,٣ ملجرام/المتر المكعب. الخطوط الإرشادية المقترحة للمستويات هي ألا تزيد عن ٠,١٢ ملجرام/المتر المكعب.

تزداد انبعاثات الفورمالدهايد مع الحرارة والرطوبة. لذلك فإن استخدام مزيلات الرطوبة والمكيفات يمكن أن يساعد في خفض التركيزات داخل المبنى. زيادة معدلات التهوية تقلل كذلك من مستويات الفورمالدهايد في المنزل. استخدام الخشب المضغوط المصنوع من الفينول فورمالدهايد وليس من اليوريا فورمالدهايد يساعد في خفض انبعاثات الفورمالدهايد.

الرصاص :

الرصاص ملوث ضار بالبيئة. يمكن تعرض الإنسان للرصاص في مياه الشرب والغذاء وكذلك غبار الرصاص في الهواء. المصدر الرئيسى لغبار الرصاص هي البويات القديمة ذات الأساس من الرصاص وهي تمثل تهديداً لصحة الأطفال. يمكن للرصاص أن يصبح محمولا في الهواء وذلك في حالة عدم إزالة الصلابة للبويات ذات الأساس من الرصاص من الأسطح بالكشط، أو الترميل أو الحرق. في عام ١٩٧٨ تم منع استخدام

البويات ذات الأساس من الرصاص بواسطة مؤتمر حماية منتجات المستهلك. البويات القديمة ذات الأساس من الرصاص وفي حالة جيدة ليست مشكلة عموماً حيث يمكن تركها بدون مساس. غبار الرصاص من التربة الملوثة الذي يصل إلى المنزل يمكن كذلك أن يسبب مستويات عالية من الرصاص في الهواء.

عند المستويات العالية، يمكن للرصاص أن يسبب التشنجات، الغيبوبة وحتى الموت. المستويات المنخفضة يمكن أن يكون لها تأثير ضار على المخ، الجهاز العصبي المركزي، خلايا الدم، الكلى. الأطفال خاصة هم المعرضون لأن الرصاص يسهل امتصاصه في أجسامهم. التأثيرات الضارة للرصاص على الأطفال تشمل تأخير النمو الطبيعي والعقلي.

الملوثات البيولوجية :

الملوثات البيولوجية التي يحملها الهواء تشمل البكتيريا، الفطريات، الفيروسات، سوس غبار المنزل، بذور اللقاح، المواد الدقيقة جداً الأخرى أو نواتج الأنشطة الحياتية. يوجد كثير من مصادر هذه الملوثات البيولوجية. نظم التبريد أو التدفئة المركزية تصبح أرضيات للتكاثر ثم تنتشر هذه الملوثات خلال المنزل. المياه الراكدة، أو المواد النافثة بفعل الماء أو الأسطح المبتلة يمكن كذلك أن تكون أرضيات للتكاثر.

التفاعلات الحساسة، مثل الضعف وفقد القوة، التهاب الأنف أو الغشاء المخامي يمكن أن توقف كذلك بواسطة ملوثات كثيرة بيولوجية في الأشخاص ذوي الحساسية. الأمراض المعدية مثل الانفلونزا، الحصبة، ومرض مثل الجدري (Chicken Pox) يمكن انتقالها بواسطة الهواء، وبعض الفطريات تطلق سميات مسببة للأمراض التي تصبح محمولة في الهواء. وفاة ٢٩ من زوار فندق في الفلبين في عام ١٩٧٦ هو مثال لمخاطر التلوث، حيث نظام التهوية في الفندق كان ينشط تكاثر بكتيريا اللجيونيل (Legionella).

يمكن خفض نمو بعض أنواع الملوثات البيولوجية بالتحكم في الرطوبة النسبية في المنزل، الرطوبة النسبية ما بين ٣٠ - ٨٠% يوصى بها. شفاطات سحب هواء المطابخ والحمامات إلى الخارج تعمل على إبعاد الرطوبة التي تتراكم نتيجة الأنشطة اليومية. طبيعي فإن المحافظة على نظافة المنزل ستساعد كذلك في خفض الملوثات البيولوجية.

الأعراض المرضية الملازمة للمبنى : Sick Building Syndrome

تلوث الهواء داخل المبنى ليس مقصوراً على المساكن المستقلة، كثيراً من المباني متعددة الأدوار التجارية والإدارية بها مشاكل كبيرة بالنسبة لنوعية الهواء. بعض الأمراض المعروفة كانت بسبب مشاكل بناء معينة. وهذه تسمى الأمراض المتعلقة بالمبنى

(Building Related Diseases). عند وجود أعراض لدى سكان المبنى التي لا تتطابق مع أى مرض معين والتي يصعب تتبع مصدرها فإن هذه الظاهرة تسمى الأعراض المرضية الملازمة للمبنى. هذا المصطلح ينطبق على المبنى عندما يشكو أكثر من ٢٠% من السكان من مشاكل صحية لمدة أسبوعين أو أكثر وأن الأعراض تنتهى عند ترك السكان للمبنى. يقدر أنه حوالى ٣٠% من المباني التجارية الجديدة أو التي تم تجديداتها تسبب الأعراض المرضية الملازمة للمبنى. المشاكل الصحية تشمل العطاس، الإجهاد، الصداع، الدوار، الغثيان، ودوار البحر، جفاف الحلق، الحساسية.

مصادر تلوث الهواء فى المباني التجارية تشبه تلك الموجودة فى المنزل. السبب الرئيسى فى الأمراض الملازمة للمبنى هو سوء التصميم، الاستخدام، أو الصيانة لتنظيم التهوية المعقدة اللازمة للتسخين، التبريد وتدوير الهواء خلال كل المبنى الضخم.

تظهر مشاكل التهوية عند العمل على المحافظة على الطاقة، حيث تكون كمية تبادل الهواء الخارجى مع الهواء الداخلى غير مناسبة. كذلك تظهر المشاكل فى حالة مداخل ومخارج الهواء فى كل غرفة تكون مسدودة أو تكون موضوعة بشكل غير صحيح. فى الأوضاع الغير مناسبة فإن مداخل الهواء الخارجى يمكن أن تسحب عادم السيارات، انبعاثات الغلايات، أو حتى الهواء الخارجى من غرفة المعيشة. نظام التهوية نفسه يمكن أن يكون مصدراً للتلوث، حيث تنتشر الميكروبات التى تنمو على السطح الداخلى للأبواب، وكذلك فى وحدة الترطيب، وإزالة الرطوبة، ومكيفات الهواء.

أخيراً فإن تلوث الهواء يمكن تدويره داخل المكاتب فى المطاعم، المطابع، مخازن الغسيل الجاف الموجودة فى نفس المبنى، بالإضافة إلى الغازات العادمة من جراجات انتظار السيارات تحت الأرض. خفض الأعراض المرضية الملازمة للمبنى عادة لا يتم علاجها تماماً بدون الأبحاث والدراسات المكثفة نحو نوعية الهواء. هذه الأبحاث قد تبدأ باستجابات ومكالمات تليفونية لتقييم درجة تعرض السكان. نظام التهوية هو العامل الهام فى عملية الدراسة والبحث، حيث التهوية الغير مناسبة تسبب ٥٠% من هذه الأعراض. اختبارات نوعية الهواء تساعد فى التعرف على الملوثات، ولكن أخذ عينات الهواء وتحليلها ليس دائماً مؤثراً فى حل المشكلة بسبب المستويات المنخفضة جداً للملوثات.

٦- أخذ عينات الهواء وقياساتها : Air Sampling and Measurement

لتقييم نوعية الهواء وللنظام الكفؤ للتحكم فى تلوث الهواء، فإنه يلزم تعيين معدلات الانبعاث من مصادر التلوث وتحليل نوع وكميات الملوثات فى الغاز والهواء المحيط وقبل

عمل مثل هذه القياسات فإنه يلزم جمع العينات المناسبة. التقدير الكمي لنوعية الهواء يتطلب التعيين الدقيق لتركيز الملوثات، والتي يعبر عنها بالنسبة بين كتلة الملوث وحجم الهواء أو الغاز الذي يوجد به. قياسات الكتلة تتم أساساً في معامل تحاليل، بينما تعيين الحجم يتم عادة في الموقع في توقيت أخذ العينات. توجد مئات من الطرق وأنواع القياسات التي يمكن أن تقيس كتلة الملوث. بعض الأجهزة تحتاج إلى مليجرامات قليلة من الملوث للتحليل الدقيق، بينما أخرى يمكنها الكشف والقياس الدقيق لكميات صغيرة جداً، حتى حوالى عدة جزيئات. يوجد كذلك كثيراً من الطرق والتجهيزات لقياس الحجم، السرعة ومعدل التدفق. اختيار التقنية لأخذ العينات وقياس الكتلة والحجم يتوقف على خواص عينة الغاز أو الهواء والملوثات المحددة المطلوب تحليلها. الغرض من هذا البند هو لتوضيح بعض من هذه التقنيات المرتبطة بأخذ عينات الهواء وقياساتها.

طرق أخذ عينات الهواء :

توجد ثلاثة أنواع محددة لأخذ عينات الهواء وهي أخذ العينات من المصدر، أخذ العينات في الهواء المحيط، أخذ العينات من داخل المبنى.

أخذ العينات من المصدر:

أخذ العينات من المصدر (أو الانبعاثات) يتم في مكان صرف الملوث، مثل الغاز العادم من المداخل، نظام التهوية، شحمان عادم السيارة، أخذ العينات من المصدر يسمى كذلك أخذ عينات الدخان عند محطات إنتاج الطاقة، حرق المخلفات الصلبة، أو المصانع حيث يأتي الصرف من المدخنة.

الغرض الرئيسى لأخذ العينات من المصدر هو لتقدير صرف الملوث من مصدر إنتاج معين للملوث واستخدام النتائج لتعيين ما إذا كانت المواصفات القياسية للانبعاث مطابقة. مواصفات الانبعاث يمكن أن يتم وصفها بواسطة وكالة حماية البيئة، أو الدولة، أو المنتج أو أى وكالة أو جمعية مهتمة بشئون البيئة. الأغراض الأخرى لأخذ العينات من المصدر هي لجمع البيانات لتصميم وتشغيل معدات تنظيف الهواء ولقياس كفاءة التأثير لهذه المعدات.

للحصول على نتائج دقيقة وذات معنى نحو تعيين مكونات تدفقات الغاز في مدخنة أو أنبوب، فإن تجهيزات أخذ العينات والخطوات يجب أن تحقق المتطلبات الرسمية المعروفة باسم طرق وكالة البيئة الإرشادية لاختبار مصادر انبعاث الهواء الثابتة (EPA Reference

Methods For stationary source air Emission testing). عند التعامل مع مداخن أو مواسير عادم ضخمة يلزم أخذ عينات الغاز من أماكن متعددة في مسار الغاز.

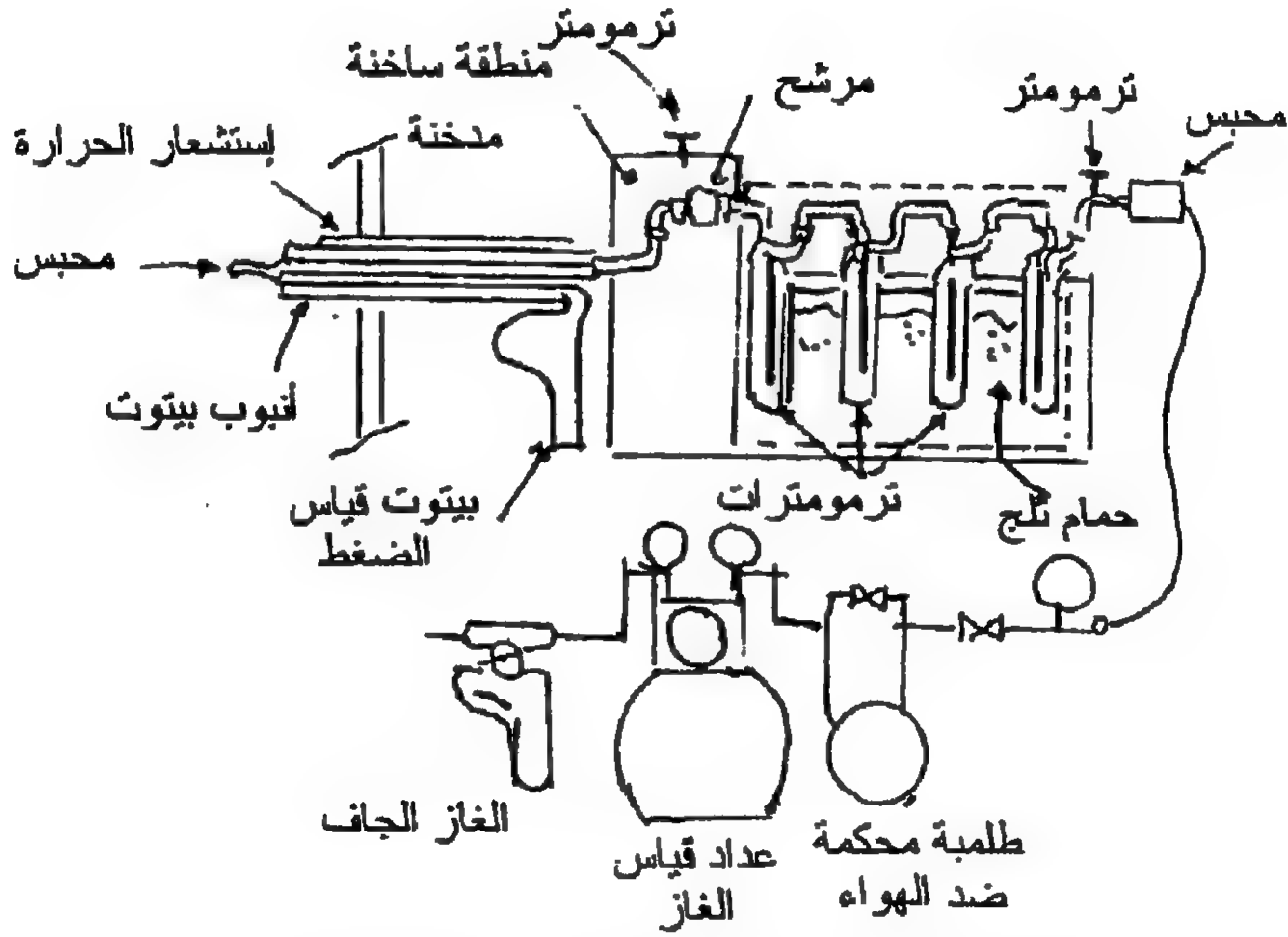
الطريقة رقم (١) لوكالة حماية البيئة (Environmental Protection Agency - EPA) توفر إرشادات محددة نحو اختيار المكان المناسب في المدخنة لقياس السرعة والأخذ العينات من الملوثات.

الطريقة (٢) تتناول استخدام أنابيب بيتوت (Pitot Tubes) لقياس السرعة، الطريقة (٣) لوصف طرق كثيرة لقياس خواص الغاز ولحساب متوسط الوزن الجزيئي لخليط الغاز الجاف (كما هو مطلوب لحسابات السرعة). غاز عادم المدخنة يحتوى معظمه على النيتروجين، وثاني أكسيد الكربون، الأكسجين، وأول أكسيد الكربون، وبخار الماء هذا الخليط يسمى (Carrier Gas) أى الغاز الحامل. الملوثات المطلوب قياسها تكون منتشرة في حامل الغاز في شكل كميات صغيرة جداً. التجهيز المسمى (Orsat analyser) هو أحد الأجهزة المشار إليها في الطريقة رقم (٣). يمكنها قياس النسبة الحجمية لمعظم مكونات الغاز العادم وبما يمكن من حساب متوسط الوزن الجزيئي. نظراً لأن التحليل الكيماوى بواسطة (Orsat analyser) يستغرق وقتاً طويلاً. الطريقة (٣) لوكالة حماية البيئة استخدمت تجهيزات إضافية منها (Fryite flue Gas analyser) وجهاز تحليل الغاز الكهربى أو الذى يعمل بالبطارية والذى يستخدم الامتصاص الانتقائى للأشعة فوق البنفسجية لقياس مكونات الغاز. الطريقة رقم (٤) تقيس محتوى الغاز من الرطوبة وتمكن من حساب الوزن الجزيئى الكلى.

الطريقة رقم (٥) لوكالة حماية البيئة هى من أهم طرق القياس للمصدر، حيث تختص بتعيين انبعاثات الجسيمات. من أهم متطلبات الطريقة رقم (٥) هى أن عينة الغاز يجب أن تؤخذ متساوية الحركة (Isokinetically) لتأكيد أن العينة ممثلة حقيقية لغاز المدخنة. العينة متساوية الحركة هى تلك التى فيها سرعة تدفقات الغاز الداخلى إلى جهاز أخذ العينة تساوى سرعة الغاز الحامل (Carrier Gas). يجب معرفة درجة الحرارة، الضغط، الحجم الكلى لمعدل تدفق الغاز الذى تؤخذ منه العينة، كذلك تلك لتدفق الغاز الرئيسى. ليكون اختيار الانبعاث مقبولا، فإن سرعة أخذ العينات يجب أن تكون خلال ١٠% لمتوسط سرعة غاز المدخنة. تجهيزه أخذ العينات لطريقة وكالة حماية البيئة رقم (٥) موضحة في الشكل (٦/١٢).

أخذ عينات الجو المحيط : (Ambient sampling)

أخذ عينات الجو يختص بقياس مستويات التلوث خارج المبنى. تؤخذ العينات من الهواء بعد الخلط الجيد للملوثات من المصادر المختلفة بفعل الظروف الطبيعية. أخذ العينات من الهواء المحيط يوفر مساحة كبيرة عن بيانات نوعية الهواء في المناطق الحضرية وفي المدن وتساعد كأساس في تقييم الآثار الصحية، وتعين مدى التوافق مع مواصفات نوعية الهواء واستنتاج التأثيرات لمصادر التلوث المقترحة الجديدة.



شكل (٦/١٢) مسارات أخذ العينات الخمسة للجسيمات

أخذ العينات من داخل المبنى : Indoor sampling

أخذ عينات الهواء من داخل المبنى تشمل أخذ العينات من المنشآت الصناعية أو الورش لحماية صحة المحتمل تعرضهم للملوثات خلال يوم العمل. وكذلك أخذ الهواء من المباني السكنية لتوفير البيانات الخاصة بنوعية الهواء داخل المباني الخاصة لحماية صحة السكان.

الرصد (Monitoring) : يجب التفريق بين أخذ عينات الهواء ورصد الهواء. أخذ عينات الهواء يشير إلى الحصول على نوعية محتملة لكمية الهواء الملوث أو الغاز الملوث لإجراء عمل التحاليل المعملية وتقييم أنواع وكميات الملوثات الموجودة. رصد الهواء على الجانب الآخر يشير إلى جميع بيانات تركيز الملوثات على أسس مستمرة ومؤثرة. الأجهزة المستمرة (أو المتقطعة) متاحة للاستخدام مثل أجهزة رصد غازات المداخل، وكذلك تجهيزات رصد الهواء الجوى أو الهواء داخل المبنى. ولكن أجهزة الرصد المستمر ليست لها الحساسية الكافية لقياس التركيزات المنخفضة جداً من الملوثات. بسبب خطورة الكميات الصغيرة من ملوثات العضوية أو السامة والتطوير الحديث لقوانين ملوثات الهواء السامة، فقد زادت أهمية جمع عينات الهواء التى يتم تحليلها معملياً بعد ذلك. هذا بالتحديد خاص بأخذ عينات الانبعاثات والعينات من داخل المبنى.

وحدات القياس : (Units of Measurement)

تركيزات ملوثات الهواء عادة يعبر عنها بكتلة الملوث فى الوحدة الحجمية لخليط الهواء، أى بالمليجرام فى المتر المكعب، أو فى حالة التركيزات الصغيرة جداً بالميكروجرام فى المتر المكعب وكذلك بالنانوجرام فى المتر المكعب. تجهيزات التحاليل التى يمكنها كشف الكميات الصغيرة جداً من المواد (Trace substances) فى مجال النانوجرام متاحة حالياً، النانوجرام هو واحد على مليار من الجرام (10^{-9}).

تركيزات الملوثات الغازية يمكن كذلك أن يعبر عنها بحجم الملوث لكل مليون حجم من الهواء زائد خليط الملوث (جزء فى المليون) أو نسبة مئوية، حيث واحد جزء فى المليون = 0.0001% بالحجم. يكون أحياناً من الضرورى التحويل من وحدات حجمية إلى كتلة فى وحدة الحجم وبالعكس. العلاقة ما بين جزء فى المليون، ملجرام على المتر المكعب تتوقف على كثافة الغاز، والتى بالتالى تتوقف على درجة الحرارة، الضغط والوزن الجزيئى للملوث.

قيم التركيز يعبر عنها بالوحدات الحجمية (جزء فى المليون)، لا تختلف كثيراً مع تغير درجة الحرارة والضغط. معايير نوعية الهواء المحيط التى أقرتها وكالة حماية البيئة (سيتم مناقشتها فى البند ٧) بنيت على أساس درجة الحرارة 25°C وضغط ١ جوى (ضغط واحد جوى يساوى ٧٦٠ مليمتراً زئبق).

يمكن استخدام الآتى للتحويل بين جزء فى المليون وملجرام/المتر المكعب عند أى درجة حرارة أو ضغط.

$$\text{ملجرام / المتر المكعب} = \frac{273 \times \text{جزء في المليون} \times \text{الوزن الجزيئي} \times \text{الضغط}}{22,4 \times \text{درجة الحرارة}}$$

ببساطة يتم ضرب قيمة ملجرام/المتر المكعب $\times 1000$ للحصول على ميكروجرام على المتر المكعب.

الثابت 22,4 هو الحجم باللتر الذى يشغله واحد جزئ من الغاز المثالى فى الحالات القياسية (صفر درجة مئوية، واحد ضغط جوى). واحد جزئ من أى مادة هو كمية هذه المادة حيث كتلتها بالجرامات تساوى عدديا وزنها الجزيئى.

فى المعادلة السابقة يتم التعبير عن درجة الحرارة بوحدات درجة الحرارة المطلقة كلفن (Kelvins) $K =$ حيث $K = 273 +$ ، والضغط يكون بالضغط الجوى

مثال رقم (١) :

إذا كانت حدود مستوى القياس كل ساعة للأوزون (O_3) كان 0,12 جزء فى المليون. احسب هذا التركيز بالملجرام/المتر المكعب عند 25°م وواحد ضغط جوى.

الحل :

الوزن الجزيئى للأوزون هو مجموع الأوزان الجزيئية لذرة الأكسجين أو $16 \times 3 = 48$. درجة الحرارة كلفن هى $25 + 273 = 298$ كلفن. باستخدام المعادلة السابقة

$$\text{ملجرام/م}^3 \text{ أوزون} = \frac{273 \times 0,12 \times 48 \times 1}{22,4 \times 298} = 0,235 \text{ ملجرام/م}^3$$

مثال رقم (٢) :

إذا كانت حدود ثانى أكسيد الكبريت هى 365 ميكروجرام/م³ عند 25°م وواحد ضغط جوى. عين هذا التركيز بالجزء فى المليون وكذا بالنسبة المئوية للحجم.

الحل :

الوزن الجزيئى لثانى أكسيد الكبريت هو مجموع الوزن الذرى لذرة الكبريت وذرتين من الأكسجين أى $32 + 16 + 16 = 64$ باستخدام المعادلة السابقة

$$273 \times \text{جزء في المليون} \times 64 \times 1 = \frac{2,617 \times \text{جزء في المليون}}{298 \times 22,4} = 0,365$$

للحل بالنسبة للتركيز بالجزء في المليون ينتج

جزء في المليون ثاني أكسيد الكبريت = $0,365 \div 2,617 = 0,14$ جزء في المليون.

التركيز الحجمي لـ $0,14$ جزء في المليون يكافئ $0,14$ حجم الغاز في 10^6 أحجام من الخليط أو $0,14 \div 10^6 = 14 \times 10^{-8}$ لتحويل هذه القيمة إلى نسبة مئوية اضرب في 1000 لتحصل على $0,000014\%$

مثال رقم (٣) :

عادم سيارة يحتوى على $2,2\%$ أول أكسيد الكربون ودرجة حرارته 82°م . احسب التركيز بالجزء في المليون والمليجرام/م^٣.

الحل :

الوزن الجزيئي لأول أكسيد الكربون CO هو $12 + 16 = 28$

تحويل $2,2\%$ إلى جزء في المليون كالاتى :

$$2,2 \times \frac{\text{واحد جزء في المليون}}{0,00001\%} = 220000 \text{ جزء في المليون}$$

درجة الحرارة كيلفن هي $82 + 273 = 355$ كيلفن، يفترض أن الغاز العادم عند الضغط الجوى.

باستخدام المعادلة السابقة

$$21148 \text{ ملجرام/م}^3 = \frac{1 \times 28 \times 22000 \times 273}{355 \times 22,4}$$

هذا التركيز يكافئ $21,1$ جرام على المتر المكعب، لأن 1000 ملجرام. سيتم انخفاضه كثيراً عند انتشار الغاز في الجو

مواصفات وكالة حماية البيئة هي فقط ١٠ ملجرام/م^٣ في المتوسط خلال فترة زمنية مدتها ٨ ساعات.

الجسيمات : Particulates

جمع وقياس الجسيمات العالقة في الهواء يعتمد على مبادئ مختلفة كثيرة عن تلك المستخدمة في تحليل الغازات. الكتلة وحجم الجسيمات هما مفتاح الخواص الطبيعية التي تؤثر على عملية أخذ العينات. الطرق الثلاث العامة لجمع وقياس جسيمات ملوثات الهواء التي تعتمد على الخواص الطبيعية هي تقنيات الوزن، الترشيح القصور الذاتي (Inertial). تقنية الوزن (جاذبية) هي أسهل طريقة ولكن يمكنها فقط قياس كمية الجسيمات القابلة للتسريب (الغبار والرماد) في الهواء. التجهيزة الأساسية والغير مكلفة تسمى وعاء الغبار الساقط (Dust Fall Bucket) وهو مثال للطريقة الأولية المستخدمة في تعيين كمية جسيمات المادة التي ترسب على الأرض.

في هذه التقنية يتم تعريض الوعاء المفتوح المحتوي على الماء لاصطياح وحجز الجسيمات في مكان مناسب، مثل سطح المبنى بعد زمن الجمع لحوالي ٣٠ يوم يتم تبخير الماء ووزن الجسيمات. النتيجة يمكن تقديرها بالجرام/ المتر المربع/الشهر، الكيلو جرام/الهكتار/ الشهر، طن/ الميل المربع/ الشهر. كمية الغبار الكلي التي ترسب من الجو في منطقة متحضرة يمكن أن تكون مرتفعة، حوالي ٥٠ طن/الميل المربع/ الشهر من سقوط الغبار الذي لوحظ في بعض المدن. وعاء الغبار الساقط لاستخدامه سلبيات وهي طول الزمن اللازم لأخذ العينة. ولذلك استبدل بالجيل الثاني الأكثر دقة لتجهيزات أخذ العينات والمعروفة بأجهزة أخذ العينات عالية الحجم (High volume sampler). هذه التجهيزات التي تقلل من زمن أخذ العينات إلى ٢٤ ساعة تستخدم تقنية الترشيح وليس الوزن لاقتناص الجسيمات. حيث يقوم هذا الجهاز بسحب حجم كبير من الهواء خلال شعيرات زجاجية أو مرشح غشائي. يتم وزن المادة المرشحة قبل وبعد أخذ العينات، ومعدل سريان الهواء، والذي ينخفض تدريجياً مع تراكم الجسيمات على المرشح، يتم قياسه بدقة وتسجيله. يعبر عن النتائج بالميكروجرام/م^٣. في المدن إجمالى الجسيمات العالقة تكون بتركيز حول ١٠٠ ميكروجرام/م^٣، ذلك رغم أن قيم ساعات الذروة قد تكون أضعاف هذه القيمة. في المدن يكون المستوى عادة حوالى ٣٠ ميكروجرام/م^٣. التقدير للنتائج بالميكروجرام/م^٣ يمكن أن يعطى إحساساً أن كميات المادة صغيرة جداً أو مهمة. ولكن

قيمة ما يساوى ٢٠٠ ميكروجرام/م^٣ تكافئ تقريباً واحد طن من الجسيمات لكل ميل مكعب من الهواء.

مثال رقم (٤) :

كتلة وعاء الغبار الساقط بقطر ٦ بوصة هو ١٢٠ جرام وهو فارغ. بعد ٣٠ يوم من التعرض فإن الوعاء والجسيمات التي تم جمعها لها إجمالي وزن يساوى ١٢٠,٣ جرام احسب سقوط الغبار.

الحل :

$$\text{كتلة الجسيمات} = ١٢٠,٣ - ١٢٠ = ٠,٣ \text{ جرام}$$

$$\text{مساحة الوعاء} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{0.5^2}{4} \times \pi = ٠,١٩٦ \text{ قدم مربع}$$

$$\text{حيث أن واحد ميل} = ٥٢٨٠ \text{ قدم، واحد رطل} = ٤٥٤ \text{ جرام}$$

$$\text{وواحد طن} = ٢٠٠٠ \text{ رطل}$$

$$\text{.. الغبار الساقط} = \frac{٠,٣ \text{ جرام/الشهر} \times \text{رطل/} ٤٥٤ \text{ جرام} \times ١ \text{ طن/} ٢٠٠٠ \text{ رطل}}{٠,١٩٦ \text{ قدم مربع} \times ١ \text{ ميل مربع/} ٥٢٨٠ \text{ قدم مربع}}$$

$$= ٤٧ \text{ طن/الميل المربع/الشهر.}$$

$$\text{كذلك حيث أن } ١ \text{ قدم} = ٠,٣٠٥ \text{ متر، } ١ \text{ هكتار} = ٢١٠٠٠٠ \text{ م}^٢$$

$$\text{.. الغبار الساقط} = \frac{٠,٣ \text{ جرام/الشهر} \times ١ \text{ كيلو جرام/} ١٠٠٠ \text{ جرام}}{٠,١٩٦ \text{ قدم مربع} \times (٠,٣٠٥ \text{ متر})^٢ / ٢ \times ١ \text{ هكتار/} ٢١٠٠٠٠ \text{ م}^٢}$$

$$= ١٦٥ \text{ كيلو جرام/هكتار/الشهر}$$

مثال رقم (٥) :

تدفق الهواء خلال جهاز أخذ العينات على الحجم تم تسجيله عند ٥٥ قدم مكعب في الدقيقة عند بداية جمع العينة و ٣٦ قدم مكعب في الدقيقة بعد ٢٤ ساعة من استمرار أخذ العينة. كان وزن المرشح ١٠٠٠٠ جرام قبل و ١٠٢٠٠ جرام بعد جمع العينة. ماذا كان إجمال المستوى الكلى للجسيمات العالقة (TSP) الذى تم قياسه فى جهاز أخذ العينات؟

الحل :

المعدل المتوسط لسريان الهواء خلال المرشح = $50 + 30 \div 2 = 40$ قدم مكعب/الدقيقة.

إجمالي حجم الهواء المار خلال المرشح في ٢٤ ساعة هو

40 قدم مكعب في الدقيقة $\times 60$ دقيقة $\times 24$ ساعة = 64800 قدم مكعب عند

التحويل إلى متر مكعب فإننا نحصل على

64800 قدم مكعب $\times 0.02832$ متر مكعب/قدم مكعب

= 1835×10^3 متر مكعب

وزن الجسيمات = 0.200 جرام $\times 10^3$ ميكرو جرام/الجرام

= 200×10^3 ميكرو جرام

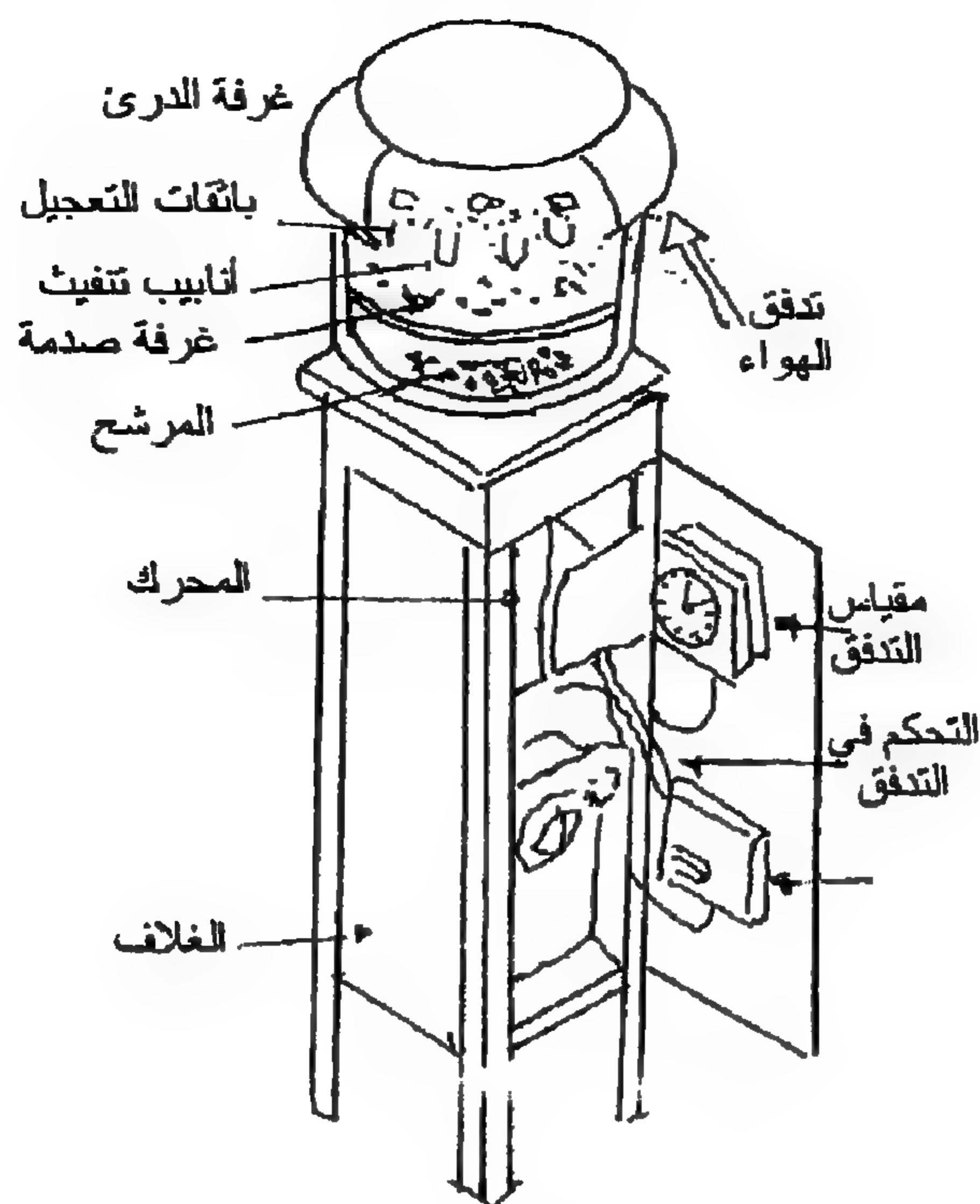
200×10^3 ميكرو جرام

التركيز الكلي للجسيمات العالقة = $\frac{200 \times 10^3}{1835}$ متر مكعب

= 110 ميكرو جرام/م^٣

جهاز أخذ العينات ماركة (PM10)

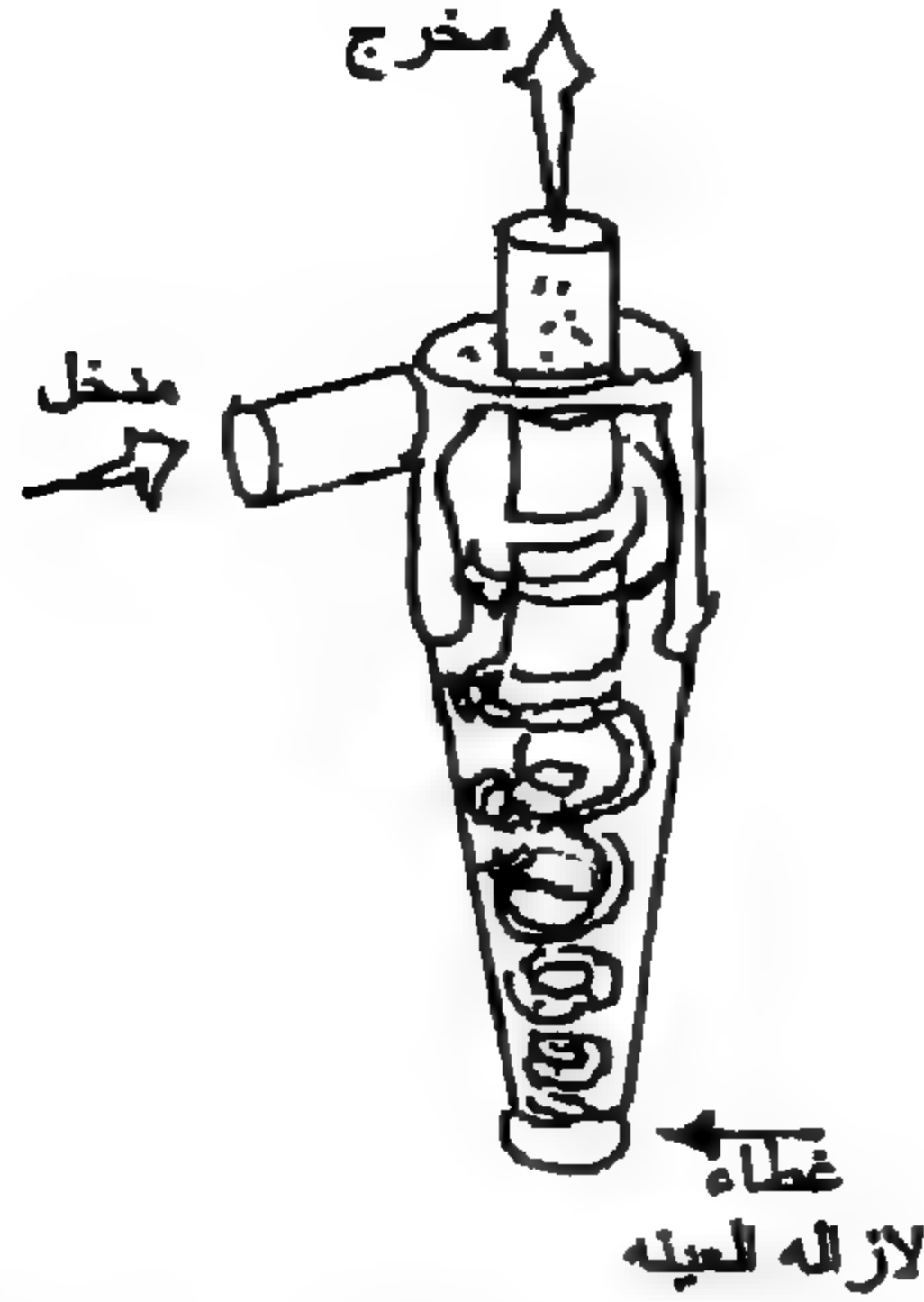
تستخدم أجهزة أخذ العينات كبيرة الحجم أساساً للحصول على عينات للجسيمات لتحليل المعادن، المواد العضوية، الكبريتات، ومركبات النترات. وهي تستخدم كذلك للتسجيل المستمر طويل المدى التاريخي لمستوى الجسيمات في أماكن معينة. منذ ابتكار جهاز أخذ العينات عالي الحجم في عام ١٩٤٠، حدث عديد من التطوير، شمل مواد ترشيح أفضل وكذلك تصميم نظام دخول الهواء. قياس مستويات الجسيمات في الهواء المحيط يتم حالياً أساساً باستخدام جهاز أخذ العينات ماركة (MP10)، والذي هو تطور لتجهيزات الحجم الكبير. الرمز MP10 يشير إلى مادة الجسيمات تساوي أو أقل من ١٠ ميكرومتر في الحجم، حيث وجد أن الجسيمات في هذا المجال من الحجم ذات علاقة أولية بالنسبة للتأثيرات الضارة على الجهاز التنفسي للإنسان. تصمم مداخل جهاز PM10 لإزالة الجسيمات الأكثر في الحجم قبل وصول العينة إلى المرشح، ومعدل التدفق يتم التحكم فيه بقياسه بواسطة أجهزة الإحساس الإلكترونية (Electronic sensors). الشكل (٦/١٣) يوضح تخطيطاً لجهاز أخذ العينات ماركة PM10.



شكل (٦/١٣) جهاز أخذ العينات كبير الحجم ماركة PM10

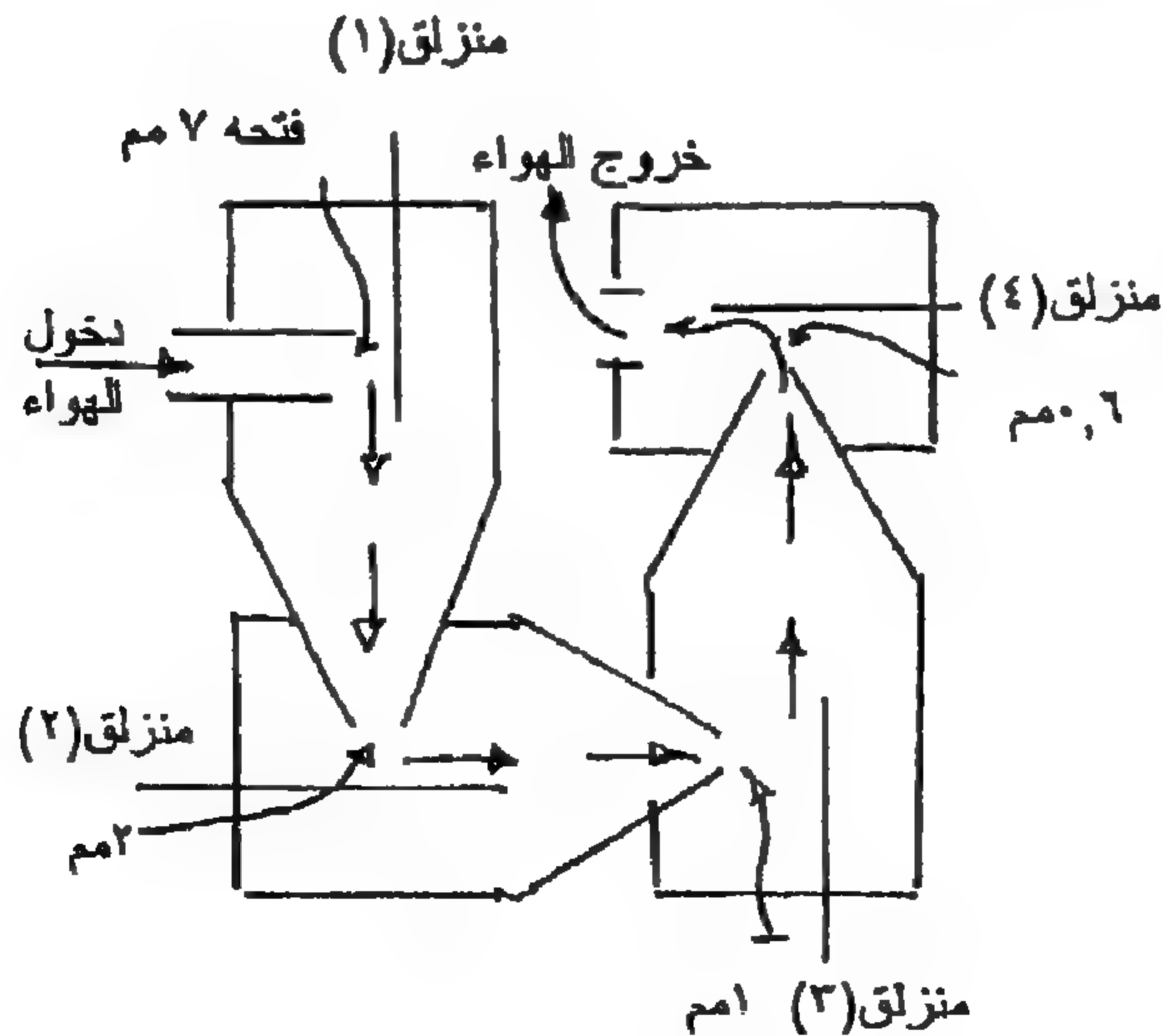
أجهزة أخذ العينات بالقصور الذاتي : (Inertial Sampler)

تعمل هذه الأجهزة بمبدأ أنه عند تغير اتجاه تدفق الهواء فجأة فإن القصور الذاتي للجسيمات سوف يجعلها ترتطم مع سطح التصادم الذي عليه يمكن حجزها. سطح التصادم يمكن أن يكون حصيرة من الصوف الزجاجي أو سطح صلب مغطى بالزيت ويكون تم وزنه قبل أخذ العينة ثم بعد أخذ العينة لقياس كمية المادة التي تم جمعها. سطح التصادم يمكن أن يكون ببساطة سطح صلب موازي تقريباً لسريان التيار، كما في الجمع بالسيكلون الحلزوني الموضح في الشكل (٦/١٤). هنا الجسيمات التي تصطدم تسقط نحو قاع الجهاز حيث يتم إزالتها ووزنها.



شكل (٦/١٤) جهاز السيليكون لجمع الجسيمات

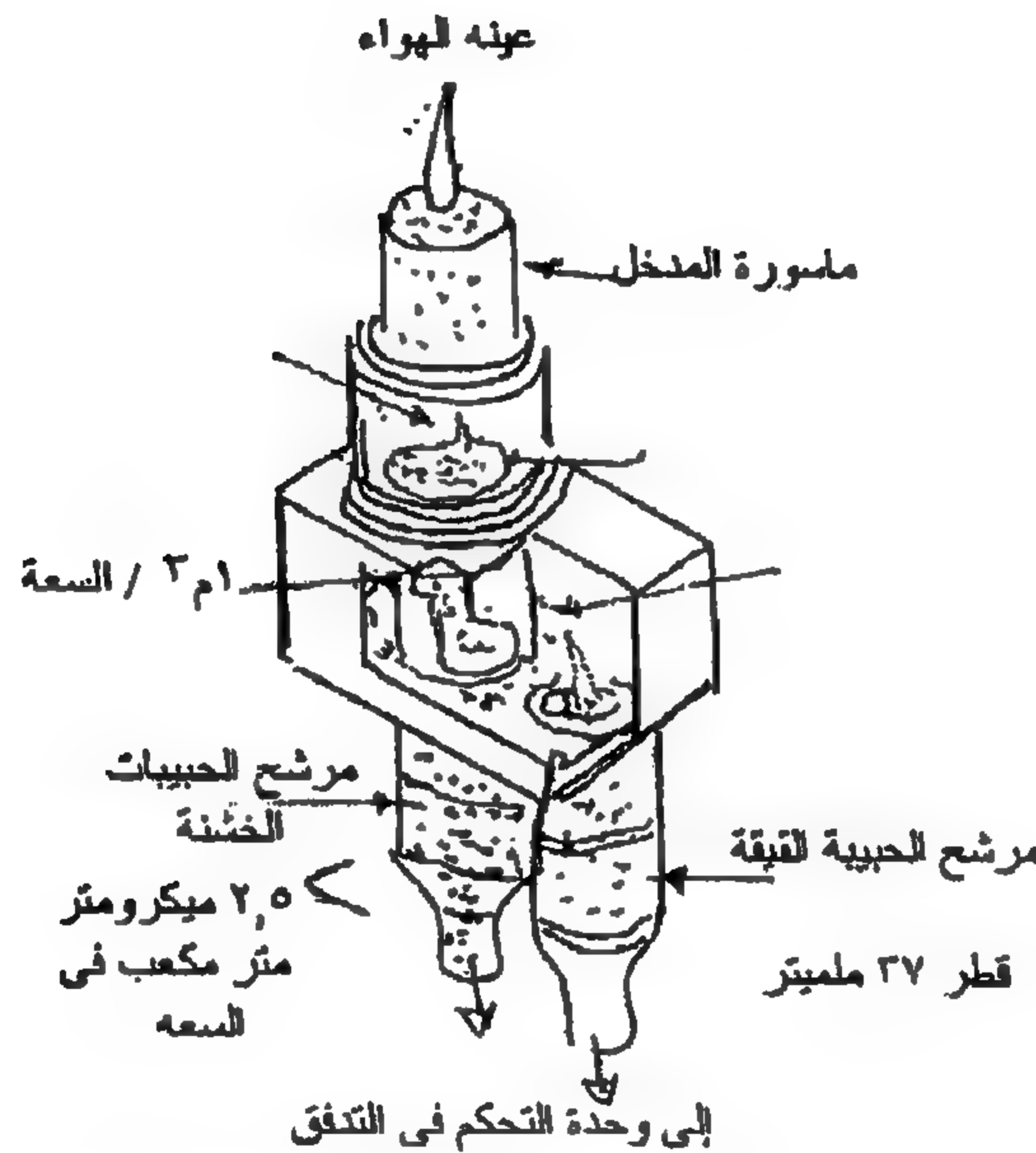
نوع آخر من تجهيز أخذ العينات بالقصور الذاتي المستخدم لجمع وتحليل جسيمات معينة، مثل حبوب اللقاح أو البكتيريا، في الصادم الهابط (Cascade Impactor) الموضع في الشكل (٦/١٥). هذه التجهيزة تحتجز الأجسام على عدة شرائح الموضوعة في مسار سريان الهواء. الثقوب الصغيرة التي يسرى الهواء خلالها ينخفض قطرها بالتدريج بما يزيد من سرعة التدفق. الأجسام ذات الأحجام المختلفة يتم احتجازها على كل شريحة بسبب القصور الذاتي للأجسام، التغير المفاجئ في اتجاه التدفق واختلاف سرعات التدفق. يمكن ملاحظة الجسيمات وقياسها على الشرائح باستخدام المجهر.



شكل (٦/١٥) التصادم الهابط لجمع وتحليل جسيمات تلوث الهواء

أنواع أخرى لتجهيزات جمع الجسيمات :

وهذه تشمل جهاز زبد البولي إيثيلين (فوم البولي إيثيلين)، وجهاز أخذ العينات المتفرع إلى شعبتين (Dichotomous Ampler)، الذي يسمح بفصل الجسيمات إلى نوعين من الأحجام (ما بين ١٠ ، ٤٥ ملليمكرون وأقل من ٢٥ ملليمكرون للقطر). جهاز أخذ العينات ذو الشعبتين موضح في الشكل (٦/١٦)، حيث يستخدم كلاً من الترشيح وتقنيات التصادم ليعمل. كل تجهيزات أخذ عينات الجسيمات تتطلب التحكم في التدفق والقياس الدقيق لهذا التدفق، الوقت، حجم العينة.



شكل (٦/١٦) مخطط لجهاز أخذ العينات

قراءات الدخان : (Smoke Readings)

مخطط الدخان لرينجل مان (Ringleman Smoke chart) يمكن أن يستخدم لتعيين إذا كانت السحابة أو الدخان في خلال الحدود المسموح بها (ولكن لا تستخدم للأتربة، الضباب). السحابات الكثيفة ترى عادة كإنبعاثات خارج السيطرة. كثافة السحابة تقارن بالرؤية البصرية إلى خمسة ظلال قياسية للرمادي، ما بين الأبيض والأسود، قراءة الدخان تتراوح من صفر (الكل أبيض) إلى ٥ (الكل أسود). الدخان الكثيف بدرجة متوسطة يقال له مثلاً رينجل مان ٣. القدرة على الحصول على قراءات دقيقة تحتاج إلى تدريب خاص ومهارات خاصة. المخطط يوضع على مسافة ١٥ متر من القائم

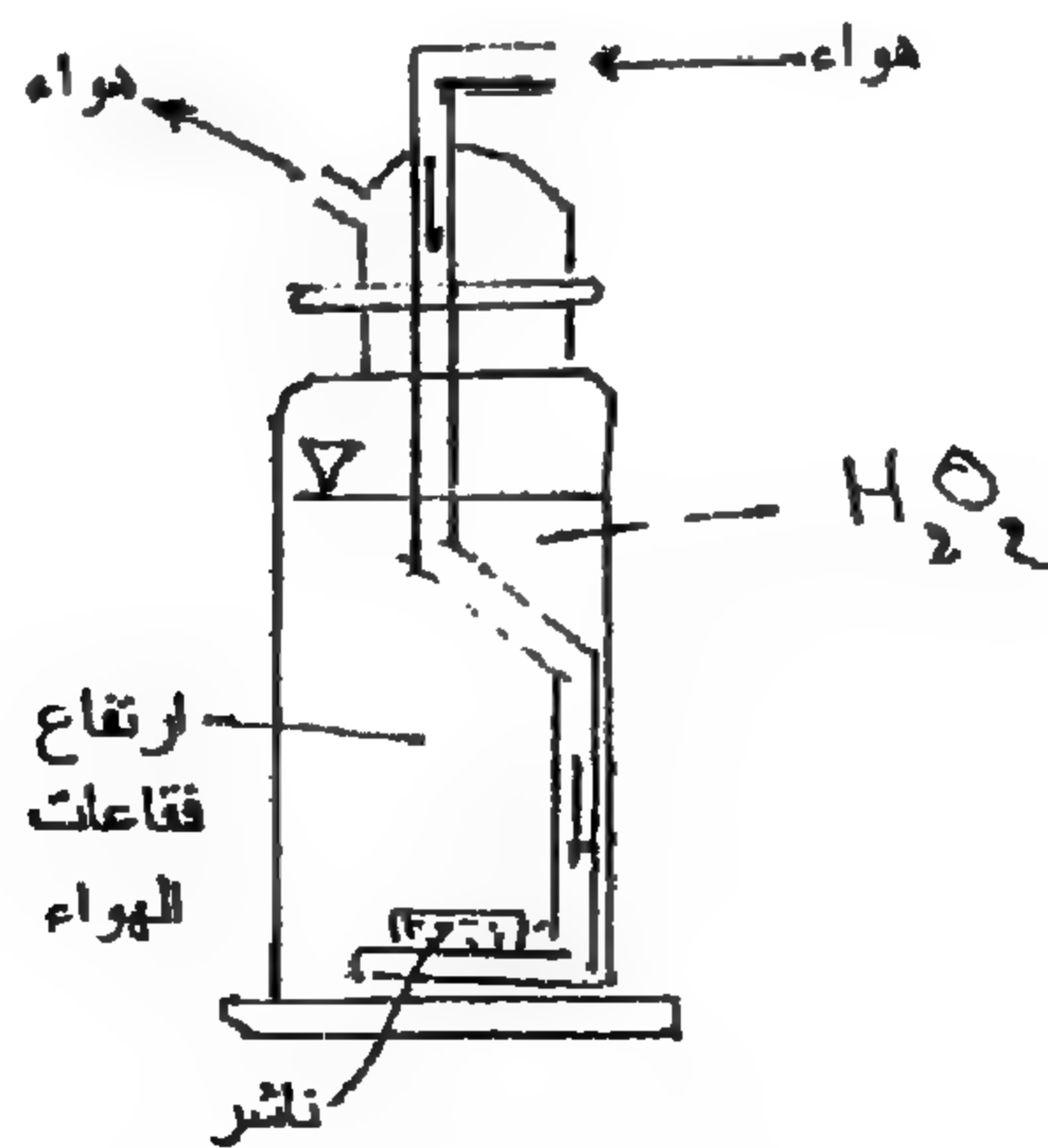
بالملاحظة، حيث يتم عمل ٣٠ ملاحظة خلال ١٥ دقيقة، يتم حساب المتوسط من تلك القراءات. قراءات مخطط رنجل مان للدخان تم استبدالها بقياس النسبة المئوية للعتامة (Percent Opacity)، قراءة رينجل مان واحد، كمثال، تقابل نسبة عتامة ٢٠%.

الغازات : (Gases)

السلوك الطبيعي والخواص للغازات تختلف عن تلك للجسيمات. أحد الاختلافات الهامة هي أن جزيئات الغاز صغيرة بما يمكنها من المرور خلال أدق مرشح، كما أنها بالتأكيد صغيرة جداً بالنسبة للترسيب بالجاذبية. التقنيات لأخذ العينات وعمل القياس للملوثات الغازية تشمل عموماً إما عملية الامتصاص أو عملية الادمصاص.

الامتصاص هو العملية التي يتم فيها التوزيع المتساوي للمركب الغازي في السائل أو الصلب والذي يسمى الماص (Absorbent). في جميع عمليات أخذ عينات الهواء يكون الماص عادة سائل، الامتصاص في السائل لإجراء التحليل المعمل هو الطريقة الموافق عليها من وكالة حماية البيئة بالنسبة لغاز ثاني أكسيد الكبريت والمركبات الأخرى ذات الوزن الجزيئي المنخفض.

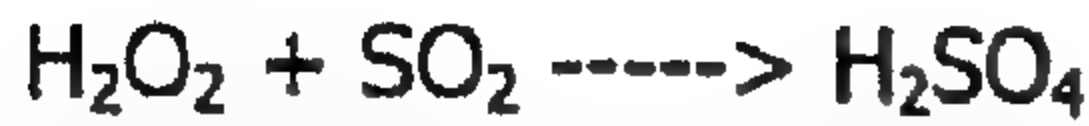
الامتصاص يمكن أن يكون إما عملية كيميائية أو عملية طبيعية، إذابة غاز في سائل هو عملية طبيعية. الامتصاص الكيميائي يستخدم سائل يحتوى على مادة تتفاعل مع الغاز لتكون منتج سهل اكتشافه. نموذج لجهاز أخذ العينات بالامتصاص يسمى أنبوب الفقاعات أو التصادم (Bubbler or Impinger Tube) موضح في الشكل (٦/١٧).



شكل (٦/١٧) جهاز فقاعات الغاز أو امتصاص الغاز يمكن أن يستخدم في أخذ عينات ملوثات غازية معينة. فمثلاً H_2O_2 يمتص SO_2 من الهواء مكوناً H_2SO_4 .

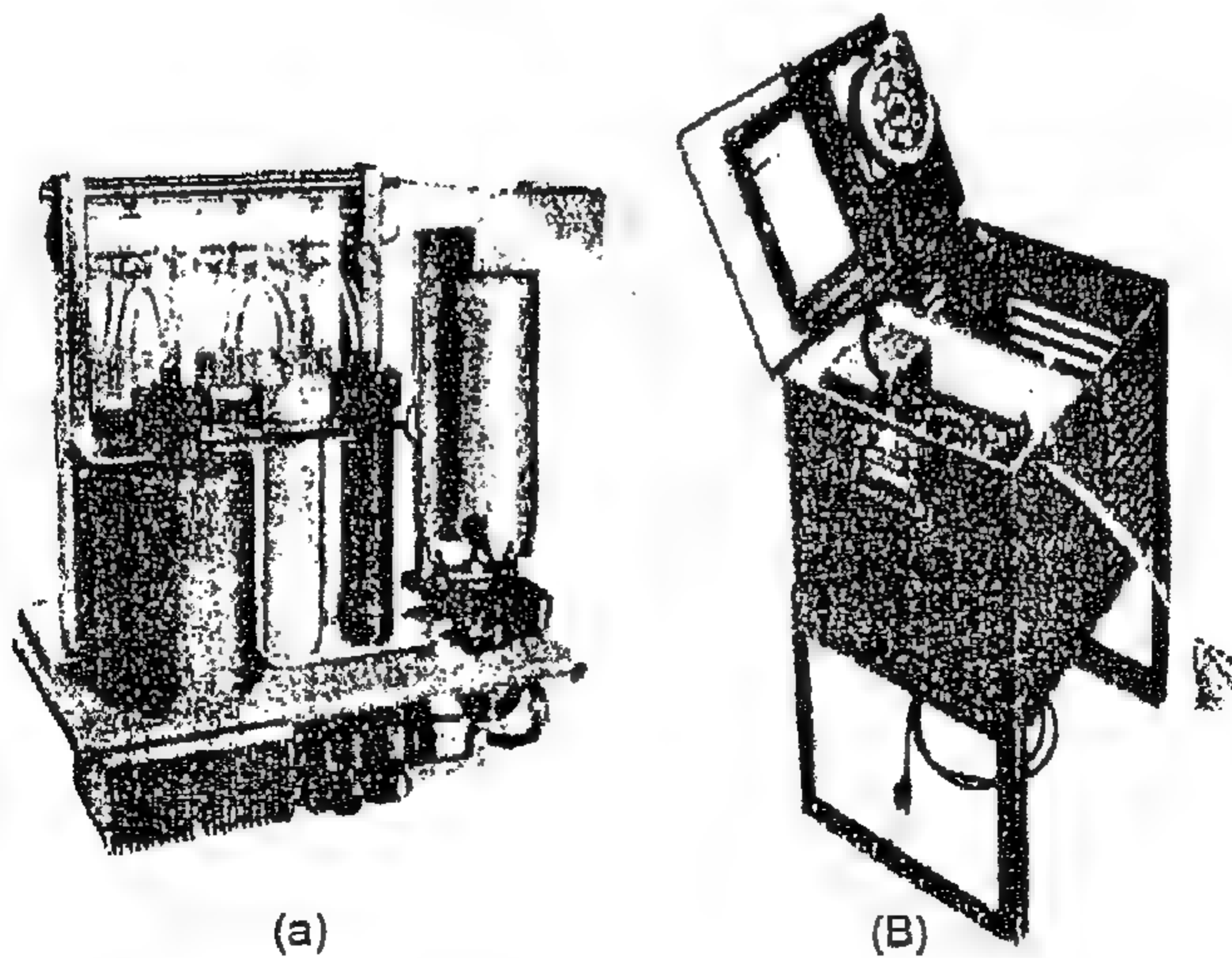
حيث يمكن حساب مستوى SO_2 في الهواء بعد قياس كمية H_2SO_4

يتم ضخ الهواء خلال ناشر صغير من الزجاج (ذو فتحات بقطر ٥٠ ميكرون أو أصغر) تطفو الفقاعات إلى أعلى خلال السائل، والذي إما أن يذوب الغاز أو يتفاعل معه كيميائياً. إذا كان حجم معلوم من الهواء محتويًا على ثاني أكسيد الكبريت، كمثال، يتم ضخ فقاعاته إلى أعلا خلال ثاني أكسيد الهيدروجين (H_2O_2)، فإنه يتكون حامض الكبريتيك بسرعة، كما في المعادلة التالية



كمية حامض الكبريتيك التي تتكون في التفاعل يمكن قياسها بطريقة قياسية كيميائية وبذا يمكن حساب كمية وتركيز ثاني أكسيد الكبريت في عينة الهواء. جهاز الفقاعات ليس كفؤًا بنسبة ١٠٠% ذلك لأنه ليس كل عينة الهواء تمتص بواسطة السائل. حيث يلزم اختبار الجهاز مقدماً لتعيين مدى كفاءته لإمكان ضبط النتائج النهائية الكمية.

جهاز الامتصاص الذي يسمى الفوار لمدة ٢٤ ساعة (24 H bubbler) موضح في الشكل (٦/١٨) ويمكن استخدامه لاختبار ثلاثة غازات مختلفة في نفس الوقت. يتم توصيل ثلاث مسارات منفصلة مع سوائل تجميع مناسبة في الفوار، على التوازي مع مضخة تفريغ. معدل سريان الهواء يمكن التحكم فيه بقياسه. تجهيزة مشابهة لأخذ العينات، تسمى جهاز أخذ العينات المتعاقبة، يمكن استخدامه لجمع حتى ١٢ عينة بالتتالي لفترة زمنية محددة، حوالي ساعتين. وهذا الجهاز يمكنه تعيين تركيزات الذروة لملوث معين على أساس يومي.



شكل (٦/١٨) (أ) جهاز أخذ عينات ثلاثة غازات (ب) غلاف الجهاز

الادمصاص (Adsorbition) هو عملية طبيعية حيث تلتصق جزيئات الغاز بسطح المادة الصلبة وتعلق عليه بقوة الربط للجزيئات (Molecular Forces). مادة الإدمصاص (Adsorbant) هي عادة مادة حبيبية متقبة (مثل الفحم النباتي أو الحيواني أو الكربون المنشط) ولها مساحة سطحية كبيرة جداً بالنسبة لحجمها. العملية العكسية التي يتم بها إزالة الجزيئات التي تم تجميعها من الأسطح تسمى إزالة الإدمصاص (Desorption). يمكن إزالة الإدمصاص باستخدام مذيب أو باستخدام الحرارة لطرد الجزيئات المحتجزة.

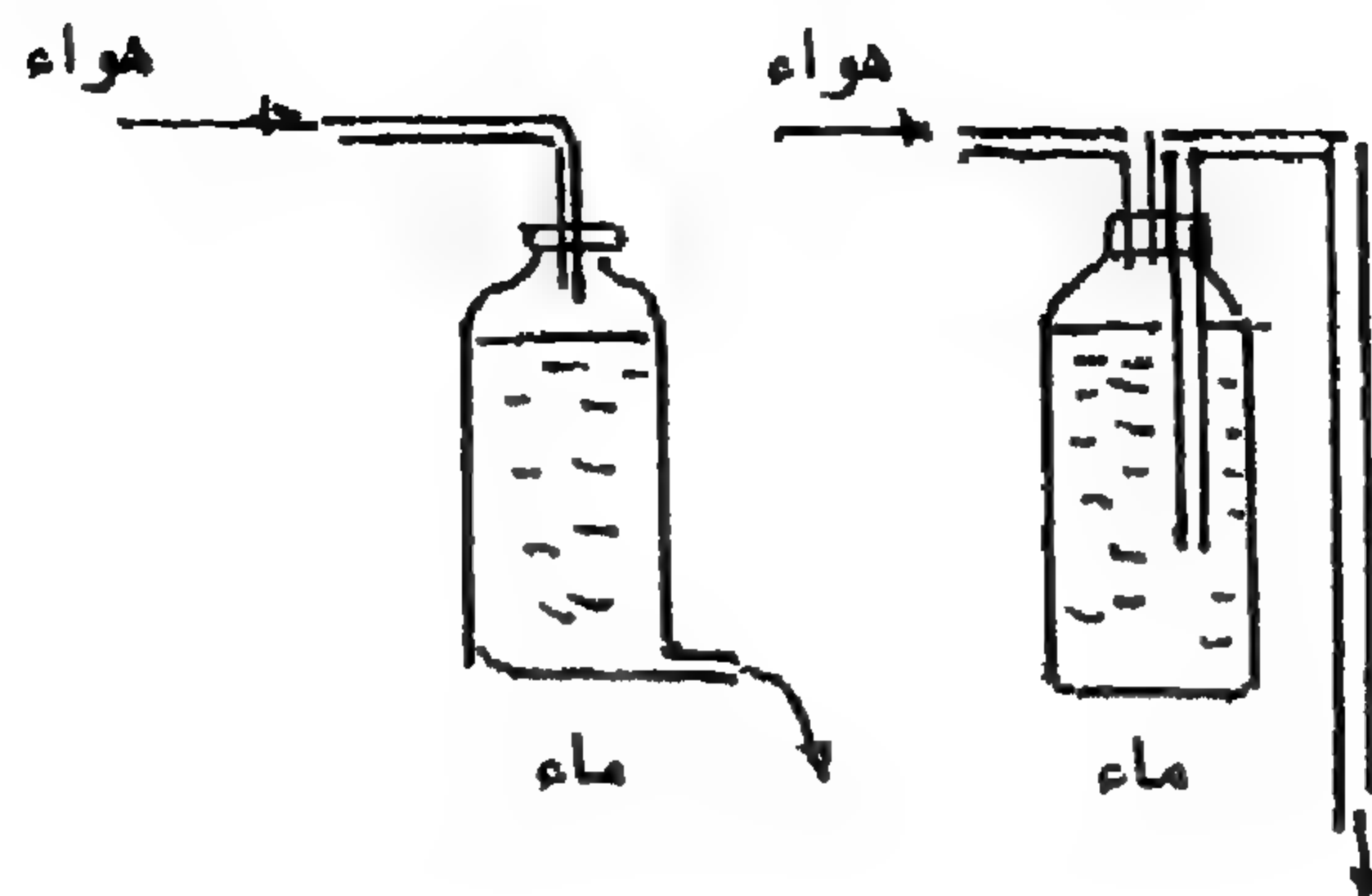
أعمال الدراسة الحقلية الصحيحة للكشف عن المركبات العضوية في مكان العمل عادة تستخدم أنابيب الإدمصاص بالفحم النباتي أو الفحم الحيواني ومذيب لإزالة الإدمصاص. بعد إزالة الإدمصاص للملوثات تستخدم تقنيات (Flame ionization or Gas Chromatography) للتحليل المعملی وذلك لقياس مستوى التلوث. في أنابيب قياس الألوان (Colorimetric Tubes)، فإن مادة الإدمصاص (Adsorbent) يمكن تغطيتها بكيماويات التي تتفاعل مع وتغير اللون بنسبة كمية الغاز الممتز. فمثلاً، إذا كان الممتز في أنبوب كشف أول أكسيد الكربون سيتغير من الأصفر إلى الأزرق الذي يميل إلى الاخضرار عند مرور عينة هواء محتوية على أول أكسيد الكربون خلال الأنبوبة. يتم قياس تركيز أول أكسيد الكربون بمقارنة اللون بمخطط اللون المعايير. أجهزة أخرى مثل السيليكا جيل، الألومينا والبلمرات العضوية يمكن أن تستخدم كذلك كمواد إدمصاص (امتزاز). مواد الإدمصاص من البلمرات العضوية مفيدة تحديداً في أخذ عينات الهواء للمركبات العضوية.

جهاز أخذ عينات الهواء الكلية : (Whole - Air sampler)

جهاز أخذ عينات الهواء (أو العينات المخطوفة) يتم تجميعها بطرق عدة، بما فيها استخدام قنينة بسيطة مفرغة. عند فتح القنينة في مكان أخذ العينات، فإنه يتم سحب عينة الهواء فيها، حيث يتم بعد ذلك تحليل العينة في المعمل.

تجهيزة أخرى لأخذ العينات المخطوفة (Grab sampling) وهي مؤثرة إذا كان الغاز تحت الدراسة غير مذاب، هي قنينة الإزاحة (Displacement Bottle) الموضحة في الشكل (٦/١٩). مع صرف الماء أو أي سائل آخر أو تفريغه بطريقة السيفون، فإن الهواء ينسحب إلى الداخل بالضغط المنخفض لأخذ مكان السائل المزاح. حجم عينة الهواء المسحوبة إلى الداخل تساوي حجم السائل المزاح. عموماً تجهيزات أخذ العينات المخطوفة

غير مفيدة كثيراً عند وجود كميات صغيرة جداً من الملوثات في الهواء، نظراً لأن الأحجام التي يتم جمعها قد لا تكون كافية للتحليل الدقيق.



شكل (٦/١٩) تقنية الإزاحة

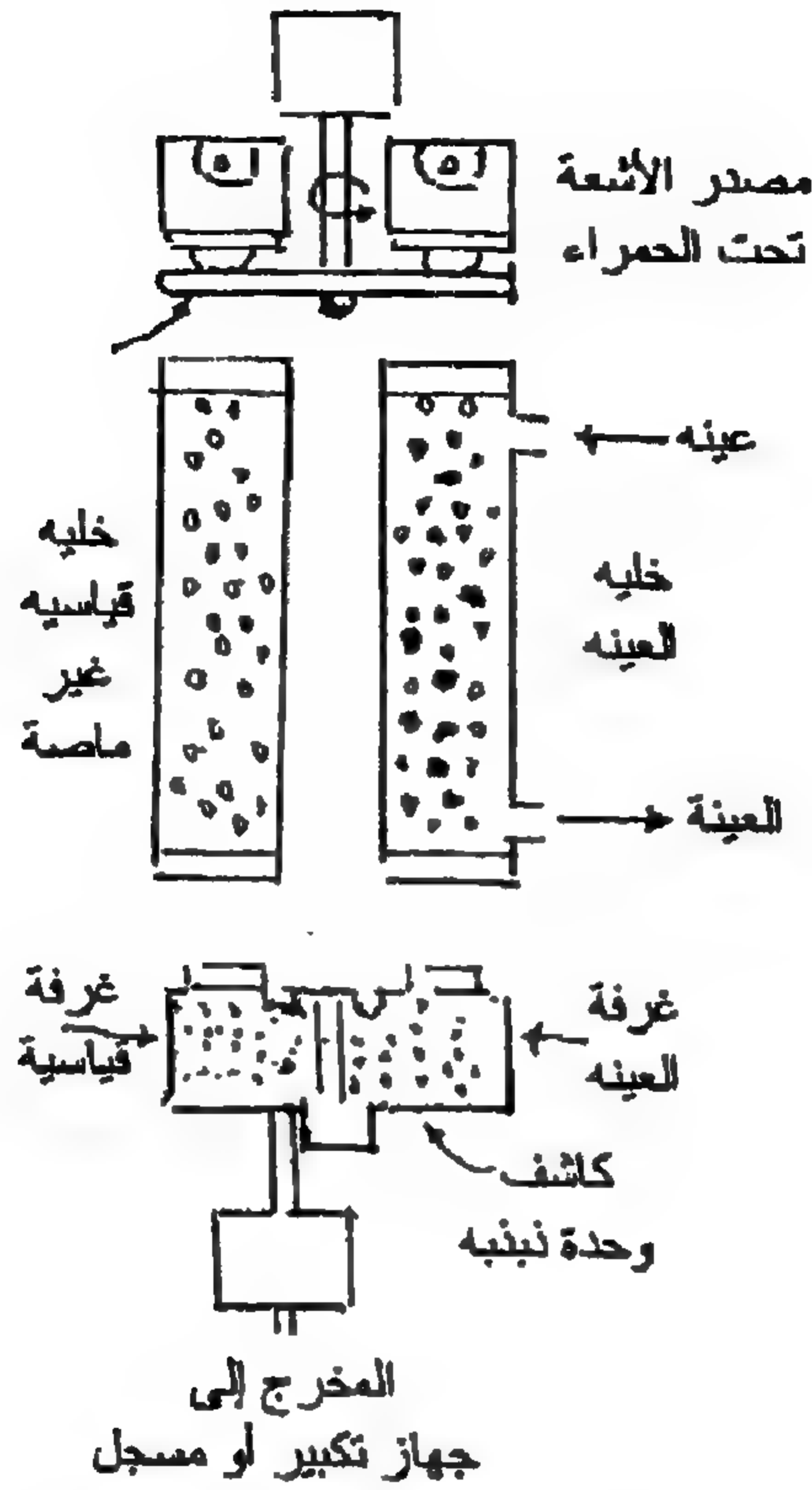
تحليل الغاز : (Gas Analysis)

يوجد مئات من الأجهزة الحديثة لتحليل الغازات. كلا من تقنيات التحليل بالألوان (Colorimetric) وتقنيات الفوران (Bubbler) التي تسمى الجيل الأول والثاني لتجهيزات تحليل الهواء. مثال للجيل الثالث المستخدم كثيراً هو جهاز تحليل بعدم تشتت الأشعة تحت الحمراء (Nondispersive Infra Red analyzer) الموضح في الشكل (٦/٢٠).

يستخدم هذا في قياس الغازات التي تمتص الأشعة تحت الحمراء مثل (NO_2 , SO_2 , CO). يبنى القياس على مبدأ الامتصاص التفضيلي، اختلاف الغازات التي ترسل و تمتص أطوال موجات مختلفة للأشعة تحت الحمراء.

جهاز الكشف عند قاع الشكل (٦/٢٠) له غرفتين محتويتين على أحجام متساوية من الغاز المطلوب دراسته. الغرفتين منعزلتان عن بعضهما بواسطة رق معدني مرن (Diaphragm)، زر كهربائي معدني ثابت حيث يتكون مكثف (Capacitor). الأشعة تحت الحمراء يتم توجيهها خلال خليتين متشابهتين، أحدهما هي الخلية القياسية (Reference) وتملأ بالنيتروجين. والآخرى هي خلية العينة، حيث يتدفق خلالها الغاز المطلوب تحليله عند وجود الملوث المطلوب الكشف عنه فإنه يمتص عينة من الأشعة تتناسب مع تركيز الملوث، ولكن لا يحدث امتصاص في الخلية القياسية. بعد المرور خلال الخلية القياسية أو خلية العينة، فإن الأشعة يتم امتصاصها بواسطة الغاز في خلايا الكاشف (Detector Cells). لأن بعض الطاقة تم امتصاصها في خلية العينة فإن الغاز في الخلية القياسية

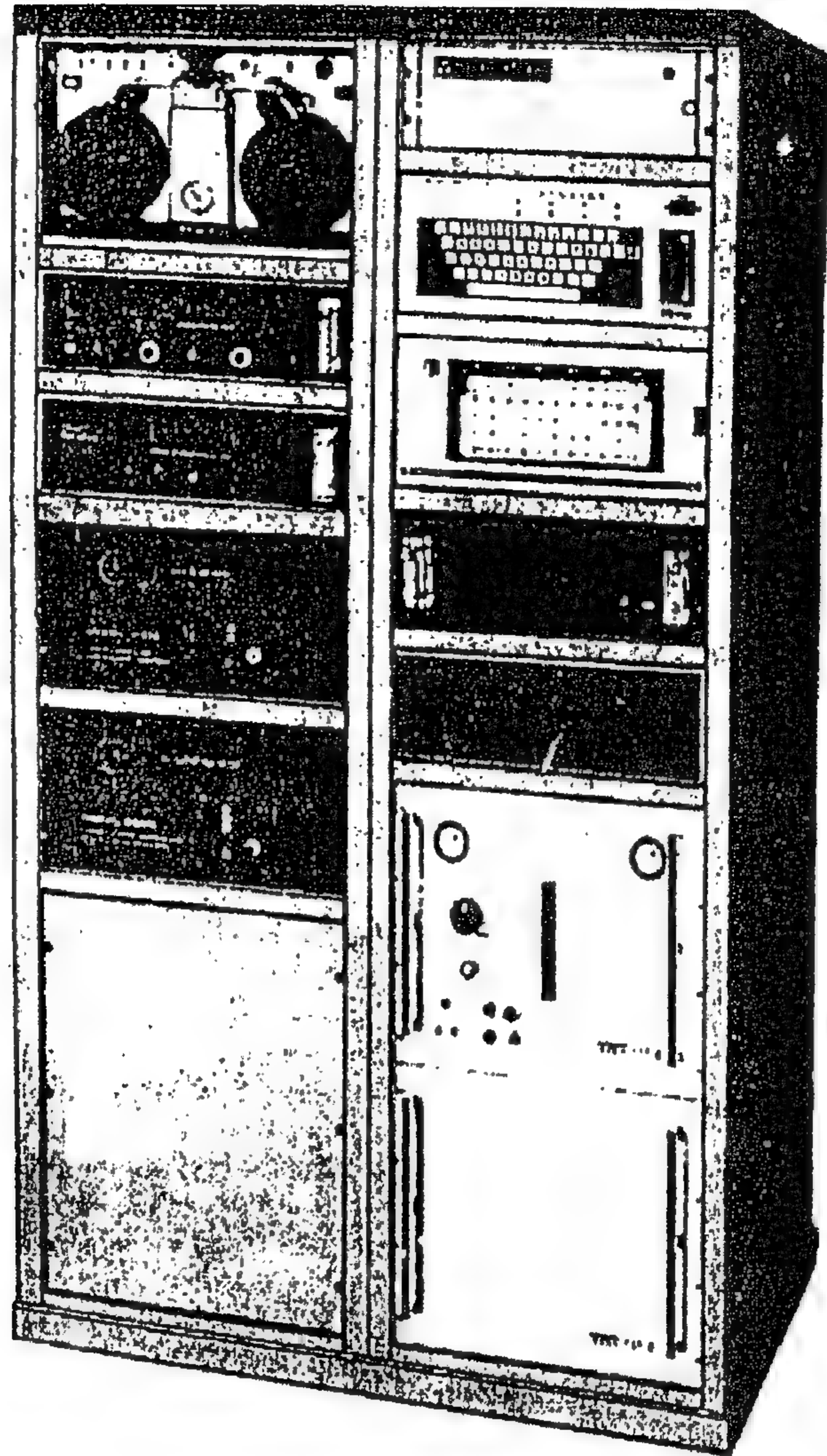
يصبح أكثر سخونة عن الغاز في خلية كاشف أخذ العينات (Sampler Detector Cells)، حيث ترسل إشارة كهربائية إلى المسجل. الإشارة تتناسب مع تركيز الملوث.



شكل (٦/٢٠) محلل الأشعة تحت الحمراء

تقنيات حديثة أخرى للتحليل تشمل كلا من (Chromatography , mass spectrometry , Flame Emission spectrometry and Electrochemistry) أجهزة الرصد المستمر المتطورة الحديثة موضحة في الشكل (٦/٢١)، هذه الأجهزة المكلفة تجمع ما بين الجمع والتحليل الآلية لكثير من مختلف ملوثات الهواء. عناصر الكشف الإلكتروني، أجهزة القياس، أجهزة التسجيل هي جزء من تسلسل أخذ العينات لهذا النوع من المعدات.

المخططات المستمرة التي تظهر التغيرات كل ساعة في مستويات الملوث أو تركيزاته متاحة كذلك. هذا مفيد بالتحديد في المناطق المتحضرة عند الاستخدام كجزء من نظام الإنذار لمخاطر التلوث.



شكل (٦/٢١) نظام الرصد المستمر

٧- التحكم في تلوث الهواء : (Air Pollution Control)

لقد ظهرت الحاجة إلى خفض أو التحكم في تلوث الهواء منذ عدة مئات من السنين. كما ذكر في البند (١) أحد المحاولات المبكرة لتقنين التحكم في تلوث الهواء كان في إنجلترا منذ القرن الرابع عشر الميلادي عند منع الملك إدوارد الثاني حرق الفحم. ولكن اليوم فإن الدخان أصبح أكثر من تحذير مؤقت، حيث الدخان وملوثات الهواء الأخرى أصبح يؤثر على الصحة والسعادة، والإحساس بالارتياح وحتى مناخ الأرض على المستوى كل الكرة الأرضية. كما أنه معروف أن أساليب العقاب القديمة لا يمكنها حل

المشكلة. فى المجتمعات الصناعية الحديثة يكون من الصعب تجنب توليد على الأقل بعض مخلفات الإنتاج التى سوف تدخل الجو، بطريقة أو بأخرى. قوانين التحكم فى التلوث الاستراتيجية ومعايير تلوث الهواء أصبحت ضرورية، كما أن المبادئ المنطقية للتكنولوجيا والهندسة يجب توجيهها نحو التطوير واستخدام معدات التحكم فى التلوث.

استراتيجية التحكم فى التلوث :

يوجد عديد من الاستراتيجيات للتحكم فى تلوث الهواء، أكثرها تأثيراً هو منع حدوث التلوث. الإلغاء الكامل للمصدر يحقق ذلك، ولكن يمكن حدوث ذلك فقط فى حالات الطوارئ، حتى عندئذ فإنه يسبب خسائر اقتصادية، بالإضافة إلى أنه يوفر حل مؤقت لمشاكل تلوث الهواء المحلية.

البديل الآخر للتحكم فى تلوث الهواء هو مكان المصدر لخفض الآثار الضارة فى مكان محدد. قد يكون هواء مناطق التجمعات السكنية ضمن المخطط العمرانى، الذى يحدد أماكن محطات الطاقة والأنشطة الصناعية لتكون بعيداً عن الكثافة العالية للسكان. يمكن تخطيط ومنع هذه المناطق على أساس الإطار العام لحركة الرياح. هذا البديل له حدود، رغم أن نوعية الهواء المحلى يمكن حمايتها إلى حد ما، إلا أن الملوثات يمكن أن يحملها الهواء إلى تجمعات قريبة بانتشار السحابات المنبعثة من المداخل الطويلة، أو تجمعات الدخان.

المداخل الطويلة تأخذ الملوثات عالية إلى الجو، بما يسمح بعملية الخلط والانتشار لتخفيف الملوثات، وخفض مستويات التلوث. ولكن "الذى يذهب إلى أعلى يجب أن يعود إلى أسفل" وعندما يعود إلى أسفل تعود مشكلة تلوث الهواء. ترسيب الحامض أو المطر الحمضى هو مثال واضح لمشكلة تلوث الهواء التى تتعدى الحدود المحلية.

من بين الطرق الهامة للتحكم فى تلوث الهواء هو تشجيع أو مطالبة الصناعات لاستبدال الوقود أو تغيير عمليات الإنتاج. فمثلاً، استخدام أكثر للطاقة الشمسية، الطاقة المائية لإنتاج الكهرباء (Hydroelectric)، والطاقة الحرارية الجيولوجية (Geothermal) سوف يقلل كثيراً من التلوث بسبب احتراق الوقود الحفري فى محطات توليد الطاقة. الطاقة النووية سوف تعمل نفس الشئ، ولكن المشاكل الأخرى المتعلقة لارتفاع مستوى الإشعاع للمخلفات والأمان اللازم يلزم حلها. كذلك استخدام الفحم الطبيعى منخفض الكبريت ومنتجات البترول سوف يقلل من انبعاثات SO_2 من محطات إنتاج الطاقة الحالية. التكنولوجيا الخاصة بمعالجة وإزالة الكبريت من الوقود الحفري الجاف قبل حرقه

وإذا كانت متاحة حالياً إلا أنها مكلفة. التغير الكامل لبعض العمليات الصناعية يمكن كذلك أن يقلل من تلوث الهواء، أحد الأمثلة هو استخدام الأفران الكهربائية بدلاً من أفران الجمر المكشفة (Open Hearth) في صناعة الصلب.

استبدال الوقود مؤثر كذلك في خفض التلوث من المصادر المتحركة. فمثلاً، استخدام الجازولين المعدل أو غاز البترول المسال، الغاز الطبيعي المضغوط، أو الميثانول لسيارات الطرق العامة سوف يساعد في تنقية الهواء. الاستبدال الكامل لوقود الجازولين في السيارات بالطاقة الكهربائية قد يبعد أحد المصادر الرئيسية لتلوث الهواء. ولقد كانت ولاية كاليفورنيا هي الولاية الأولى التي طلبت أنه بحلول عام ١٩٨٢، يكون ٢% من مبيعات السيارات الجديدة بانبعاثات صفر (أي سيارات كهربائية). وزاد الطلب إلى ١٠% في عام ٢٠٠٣. ولاية أخرى تبنت نفس الأسلوب وتوقيتاته.

الاستخدام الصحيح لعمليات التشغيل والصيانة يعتبر هام لخفض تلوث الهواء ويجب عدم إغفاله كاستراتيجية مؤثرة في التحكم. فمثلاً، إذا قام عامل في محطة إنتاج طاقة بإدخال كمية أكبر من اللازم في فرن الغلاية، فإن انبعاثات الرماد الطائر سوف تزداد. إضافة كمية كبيرة من الكبريت في مصنع إنتاج حامض الكبريتيك بدون الإمداد بالهواء الكافي يمكن أن يسبب زيادة انبعاثات SO_2 . حتى أن عدم تزييت مروحة المحرك في محطة الحرق يمكن أن يؤدي إلى تلوث غير ضروري. وأخيراً، فإن أحد أهم الاستراتيجيات للحد من الانبعاثات من المصادر المتحركة هو برنامج التفتيش والصيانة المؤثر لمحرك السيارة.

قوانين ومواصفات نوعية الهواء :

حتى منتصف عام ١٩٩٠ كانت النظرة لتلوث الهواء أنها مشكلة دولة أو أنها مشكلة محلية. ولكن الآن أصبح معروفاً أنه ليس فقط مقصوراً على الدول ولكنه على مستوى الكرة الأرضية وله اهتمامات عالمية. قوانين نوعية الهواء تحت المراجعة المستمرة ويتم تطويرها. القاعدة هي أقصى مستويات مسموح بها، معدلات الصرف، وزمن التعرض لمواد معينة. ثلاثة أنواع من الخطوط الإرشادية هي بداية القيم الحدية، معايير كفاءة المصدر، ومواصفات نوعية الهواء المحيط.

بداية القيم الحدية (Threshold Limit values)، تركز على ملوثات للهواء معينة ذات التأثير المعروف والعلاقة بالآثار الصحية، وهذه تستخدم أساساً كخطوط إرشادية مهنية،

حيث تحدد تعرض العمال في البيئات الصناعية إلى أبخرة معينة أو كيماويات، وهي مبنية على أساس التعرض لمدة ٨ ساعات في اليوم، خمسة أيام في الأسبوع.

معايير كفاءة المصدر تركز على معظم المنتجين لملوثات الهواء سواء المنزلية أو الصناعية سواء من مصادر متحركة أو من مصادر ثابتة. وهذه تشمل محطات الطاقة، محارق المخلفات الصلبة، المصانع، معامل تكرير الزيت، سيارات الطرق العامة. وكثيراً، وهذا عادة يعبر عنها بكملة الملوث المنبعث في وحدة الزمن، حجم الإنتاج، أو المسافة.

معايير نوعية الهواء المحيط تركز على المستويات المسموح بها لملوثات الجو خارج المبنى. وهذه تهتم بوضع الحدود التي تقلل من الآثار الضارة بالصحة العامة، الراحة والمتاع. افتراض زمن التعرض ليكون ٢٤ ساعة في اليوم، سبعة أيام في الأسبوع.

قانون الهواء النظيف : (Clean Air Act)

وجدت عدة قوانين للهواء النظيف بدءاً من عام ١٩٦٣، عام ١٩٦٧. والقانون الصادر في عام ١٩٧٠ في الولايات المتحدة حيث تم الإعلان الرسمي لمعايير نوعية الهواء المحيط لحماية الصحة العامة. وهذا طالب الدول بوضع خطة للتنفيذ. بالنسبة للصناعات الجديدة وضعت مواصفات لانبعاثات المسموح بها للحد منها. هذا بالإضافة إلى وضع مواصفات حازمة لانبعاثات السيارات وهذه المواصفات هي مثال لقواعد مشاركة التكنولوجيا.

المواصفات الأولية لنوعية الهواء المحيط لسنة ملوثات موضحة في الجدول (١ / ٦). المواصفات الأولية وضعت لحماية الصحة، المواصفات الثانية للحماية ضد التأثيرات التي ليس لها علاقة بالصحة مثل إتلاف المحاصيل أو الرؤية. نظراً لأن نوعية الهواء المحيط تتغير مع الوقت، فلقد تم توصيف واحد أو أكثر من فترات القياس الزمنية لكل ملوث. التركيز المسموح به يمكن التعبير عنه بالميكروجرام/م^٣ أو بالجزء في المليون.

الملوثات	متوسط الوقت	التركيز المسموح به
PM10	المتوسط السنوي الحسابي ٢٤ ساعة	٥٠ ميكروجرام/م ^٣ ١٥٠ ميكروجرام/م ^٣
SO ₂	المتوسط السنوي الحسابي ٢٤ ساعة	٨- ميكروجرام/م ^٣ ٣٦٥ ميكروجرام/م ^٣
CO	٨ ساعات ١ ساعة	١٠ ميكروجرام/م ^٣ ٤٠ ميكروجرام/م ^٣
NO ₂	متوسط السنوي الحسابي	١٠٠ ميكروجرام/م ^٣
O ₃	١ ساعة	٢٣٥ ميكروجرام/م ^٣
Pb	٣ دقائق	١,٥ ميكروجرام/م ^٣

مخطط نوعية الهواء : (Air Quality Index)

لإمكان توفير المجتمع بالمعلومات التي يسهل فهمها عن نوعية الهواء خارج المبنى ولتقدير نوعية الهواء، فلقد أصدرت وكالة حماية البيئة المخطط اليومي لنوعية الهواء قبل عام ١٩٩٠ وسمى هذا مخطط معايير الملوث (Pollutant standard Index). بالإضافة إلى استخدامه كأداة معلومات متاحة، فإنه يساعد في تعيين الخطوات اللازمة في حالة ارتفاع منسوب تلوث الهواء إلى المستوى الغير صحي. المخطط لنوعية الهواء يختص بكل من الملوثات الخمسة للهواء، وهم الجسيمات، ثاني أكسيد الكبريت، أول أكسيد الكربون، ثاني أكسيد النيتروجين، الأوزون. وهذا يتم بتحويل قياسات تركيز الملوثات في هواء المجتمع إلى رقم على تدرج من صفر إلى ٥٠٠. توجد خمس مراحل على تدرج مخطط نوعية الهواء كل منها مرتبط بالتأثيرات الصحية لكل من الملوثات الخمسة للهواء. وهذه المراحل هي:

مخطط نوعية الهواء	التأثير الصحى
صفر إلى ٥٠	جيد
١٥ إلى ١٠٠	متوسط
١٠١ إلى ٢٠٠	غير صحى
٢٠١ إلى ٣٠٠	غير صحى جداً
٣٠١	خطر

الرقم المهم فى مخطط نوعية الهواء هو الرقم ١٠٠، ذلك لأن هذا الرقم يقابل المواصفات الخاصة بقانون الهواء النظيف لكل ملوث. قراءة ٣٦٥ ميكروجرام/م^٣ لثانى أكسيد الكبريت مثلاً، تترجم إلى مخطط نوعية الهواء بالمستوى ١٠٠. وبالمثل ٢٣٥ ملجرام/م^٣ التركيز المقاس للأوزون سيتحول كذلك إلى مخطط نوعية الهواء لـ ١٠٠. وبالمثل التركيز المقاس للأوزون ٢٣٥ ملجرام/م^٣ سيتم كذلك تحويله إلى ١٠٠ فى مخطط نوعية المياه.

لقد أعدت وكالة حماية البيئة أعلى خمسة أرقام لمخطط نوعية الهواء لكل مناطق المدن وتعريف أى ملوث يقابل الرقم المدون. فمثلاً، المستوى ١١٠ للأوزون لمنطقة ما سيعرفون أن الأوزون من الملوثات وأنه على أعلى مستوى لنوعية الهواء فى هذا اليوم. وأن كل الملوثات الأخرى هى فى حدود المستوى الجيد أو المتوسط. فى الأيام عند زيادة ملوثين أو أكثر عن المعايير (أى أكبر من قيمة مخطط نوعية الهواء ١٠٠) فإن ملوث الهواء بالمستوى الأعلى يتم إعلانه.

معايرة الأحداث (Episodes Criteria)

جميع المستويات أعلى من ١٠٠ لمخطط نوعية الهواء قد تحفز الإجراءات الوقائية بواسطة الدولة أو المحليات. وهذه تتضمن نصائح صحية للأشخاص ذوى الحساسية بتحديد أنشطتهم الخارجية مع قيود فاعلة على الأنشطة الصناعية. المستوى ٢٠٠ يحتمل أن ينذر بمرحلة الخطر. الأنشطة التى يمكن منعها بواسطة المسؤولين تتضمن استخدام الحرق للمخلفات. أما المستوى ٣٠٠ فإنه تحذير الذى يحتم منع الحرق، تخفيض عملية تشغيل محطات الطاقة وبعض الأنشطة الصناعية وتحذير المواطنين من استخدام وسائل

النقل العام. أى مستوى فى حدود ٤٠٠ أو أعلى يمثل حالة طوارئ والتي تتطلب إيقاف معظم الأنشطة الصناعية والتجارية، بالإضافة إلى تحذير لكل الاستخدامات الخاصة للسيارات الخاصة.

التحكم فى الملوثات من المصادر الثابتة :

افضل استراتيجية لحماية نوعية الهواء هى بخفض كمية التلوث عند المنبع، أساساً باستبدال الوقود أو تغيير طريقة الإنتاج. عندما لا يكون هذا ممكناً أو غير كافى لتحقيق الهدف، فإنه يلزم عندئذ إقامة بعض أنواع معدات تنظيف الهواء عند المصدر.

توجد أنواع متعددة من تجهيزات تنظيف الهواء التى يمكن أن تجمع أو تحتجز ملوثات الهواء قبل انبعائها فى الجو. بعض من هذه التجهيزات تعمل فقط للتحكم فى الجسيمات العالقة والبعض الآخر للتحكم فى الملوثات الغازية. تصميم أو اختيار نوع معين من أجهزة تنظيف الهواء يعتمد على الخواص الطبيعية والكيميائية للملوث المطلوب إزالته وكذلك درجة الحرارة والعدوانية (Corrosivity) والخواص الأخرى للملوث والغاز الحامل.

التحكم فى الجسيمات :

معظم الجسيمات الملوثة للهواء المحيط تأتى من المصادر الثابتة، وخاصة من محطات الطاقة، العمليات الصناعية، ونشاطات المناجم والمحاجر، وحرق المخلفات. الخواص الهامة للجسيمات التى تقرر ما نوع معدات نظافة الهواء الأفضل لتطبيقات التحكم فى التلوث هى متوسط حجم الحبيبات، التوزيع الحجمى، الكثافة، القدرة على التفاعل. خواص الغاز الحامل مثل معدل التدفق، محتوى الرطوبة، درجة الحرارة، والقابلية للاشتعال تلك كذلك ذات أهمية.

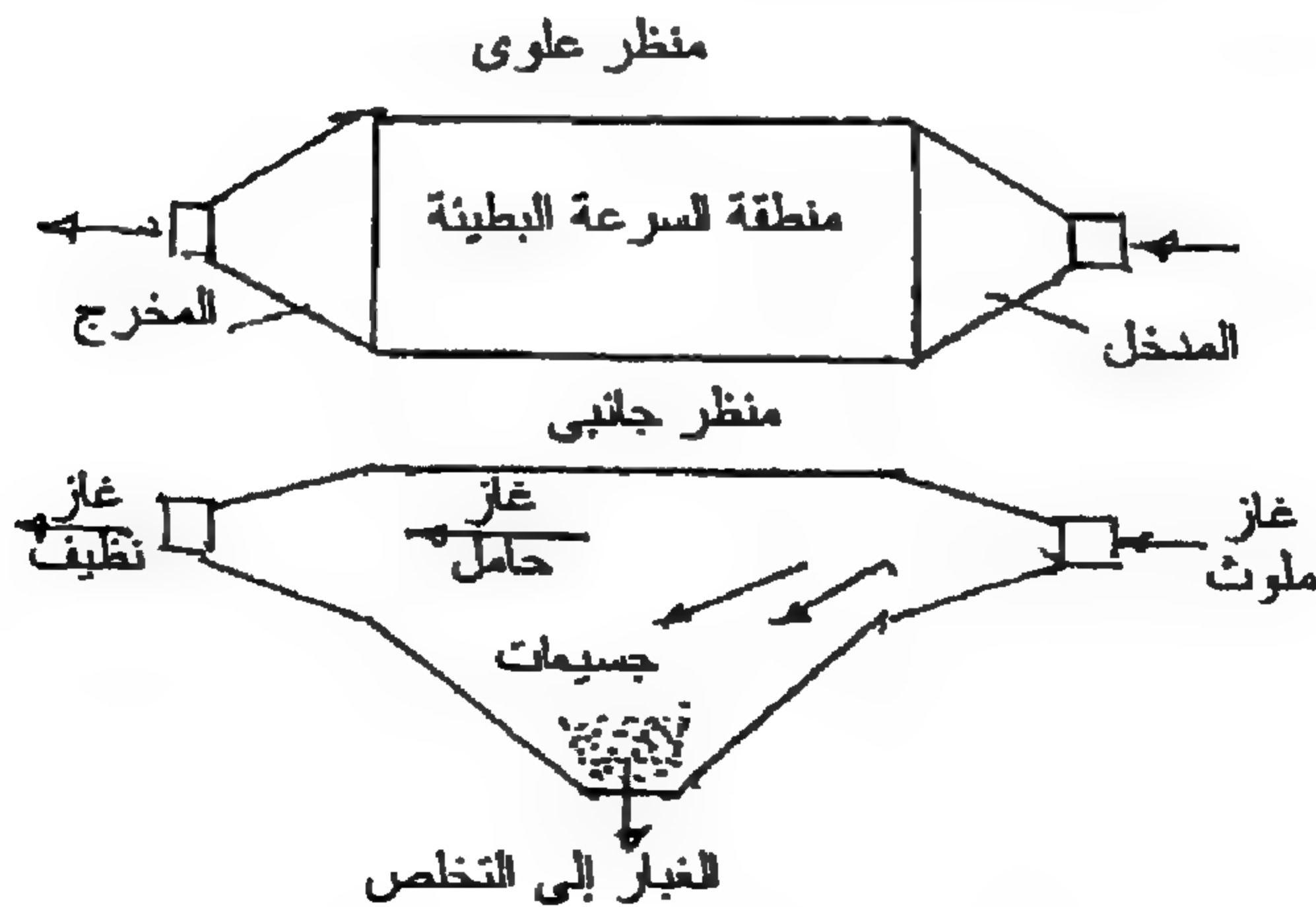
الجسيمات تأتى فى عدة أشكال وأحجام وهذه يمكن أن تكون نقاط سائل أو دخان صلب وجسيمات غبار. معظم الجسيمات ليست مستديرة، إذ تكون ذات شكل غير منتظم. عادة يشار إلى القطر الغير مؤثر للحبيبة ذات الشكل الغير منتظم عندما يكون واحد أو أكثر من أقطارها أكبر كثيراً عن الآخر. سلوك الجسم العالق فى تدفقات الغاز هو دلالة لكثافته وحركة القطر فى الهواء (Aerodynamic diameter). حركة القطر فى الهواء لأى حبيبة ذات شكل غير منتظم يعرف بقطر الدائرة ذات كثافة الماء التى ترسب فى الهواء الثابت بنفس معدل الجسم الحقيقى نفسه. هذا هو القطر الذى يشار إليه عند مناقشة معدة

التحكم فى الأجسام وفى الجسيمات. التجهيزة التى تسمى صادم الهبوط (Cascade impactor) التى تفصل الأجسام العالقة على أساس القطر الهوائى الحركى تستخدم لتعيين توزيع حجم الحبيبات فى مسار العادم.

توجد أنواع كثيرة من معدات التحكم فى الجسيمات، بما فيها الترسيب بالجاذبية، الفرز الدوامى (Cyclones)، الترسيب بالطريقة الإليكتروستاتيكية، المرشحات من المنسوجات، وأجهزة الغسيل الرطب. بعض منها أقل تكلفة عن الآخر ولكن أقل كفاءة كذلك فى إزالة الجسيمات الدقيقة من الغاز الحامل. البعض يكون مقصوراً على نظافة الغازات الجافة ذات درجة الحرارة المنخفضة. نظراً لأن مشاكل التحكم فى تلوث الهواء تعتبر فريدة، فإنه يلزم استخدام المبادئ الهندسية لاختيار أفضل التجهيزات لنظافة الهواء لتطبيقات تحكم محددة.

أجهزة الترسيب بالجاذبية : (Gravity Settlers)

أبسط أنواع تجهيزات تنظيف الهواء هو غرفة الترسيب (Setting Chambre)، والموضحة تخطيطاً فى الشكل (٦/٢٢)، وهى أساساً مقطع مكبر أو غرفة فى مجرى حيث فيها تنخفض سرعة الغاز الحامل. عند البطء الكافى لسرعة الغاز الحامل فإن الأجسام الخشنة (ذات القطر أكبر من ٤٠ ميكرومتر) يمكن أن ترسب بالجاذبية. غرفة الترسيب لهذا النوع تعمل كمنظف أولى لمنع الانسداد لأجهزة جمع الأجسام الصغيرة الأكثر كفاءة والتى يجب أن تليها. عادة يتم إضافة عوائق داخل الغرفة لزيادة الترسيب وكفاءة إزالة الجسيمات.

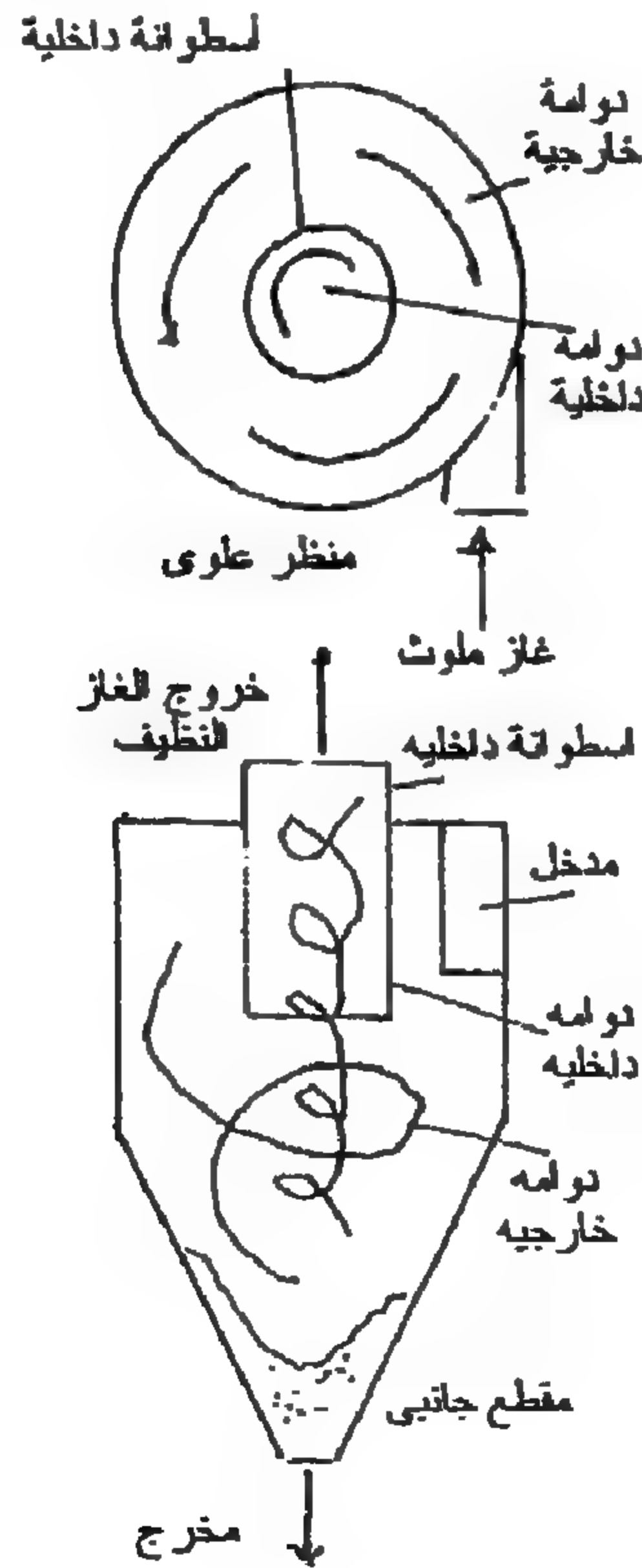


شكل (٦/٢٢) غرفة الترسيب،

تمكن من إزالة الجسيمات القابلة للترسيب عند المنبع

الفرازة الدوامية : (Cyclone)

التجهيزة الأخرى لتنظيف الهواء تسمى الفرازة الدوامية، والتي تزيل كثيراً من الجسيمات وذلك بجعل الغاز الحامل يسرى في مسار حلزوني داخل غرفة أسطوانية. بدلاً من استخدام الترسيب لخفض السرعة والترسيب بالجاذبية فإن هذا المسار الحلزوني يعرض الجسيمات لقوى القصور الذاتي والاحتكاك والتي تفصلها من الغاز الحامل. كما هو موضح في الشكل (٦/٢٣) يدخل الغاز الحامل غرفة الحلزون من اتجاه مماس عند الحائط الخارجي للغرفة ويكون دوامة مع الدوران حول الغلاف الداخلي الإسطوانى والقمعى. الجسيمات الأكبر تتحرك إلى الخارج وتدفع مقابل الجدار (طبقاً لقانون القصور الذاتي والقانون الأول لنيوتن). الأجسام تبطأ بفعل الاحتكاك وتنزلق إلى أسفل الجدار إلى قادوس جمع الغبار عند القاع حيث يتم إزالتها. مسار الغاز التنظيف عندئذ يسرى كدوامة إلى أعلى في حلزون ضيق، خلال داخل الأسطوانة وخلال المخرج عند القمة.



شكل (٦/٢٣) في جهاز الجمع الحلزوني، تدفع الحبيبات إلى الخارج

حيث تبطأ وترسب. والهواء التنظيف يتدفق لأعلى.

الأجهزة الحلزونية أكثر كفاءة لإزالة الجسيمات الخشنة نسبياً، ولكنها كذلك ذات كفاءة إلى حد ما في إزالة الأجسام الأصغر فهي قادرة على تحقيق كفاءة بنسبة ٩٠% للأجسام أكبر من ٢٠ ميكرومتر. القطر الفاصل للفرازة الدوامية الحلزونية هو حوالي ١٥ ملليمكرون، القطر القاطع (Cut Diameter) هو ذلك حيث ٥٠% من الأجسام يتم جمعها، و ٥٠% لا يتم جمعها. بمعنى أن معظم الأجسام أكبر من ١٥ ملليمكرون يتم إزالتها بالإضافة إلى حوالي نصف ذلك يكون صغيراً مثل ١٥ ملليمكرون. على عكس غرفة الترسيب بالجانبية فإن كفاءة الإزالة للأجسام الصغيرة في الفرازة الحلزونية يزداد مع زيادة سرعة التدفق. في بعض التصميمات المتقدمة تكون أجهزة الفرز الحلزوني قادرة على إزالة أكثر من ٩٨% بكفاءة للأجسام ذات قطر أكبر من ٥ ملليمكرون.

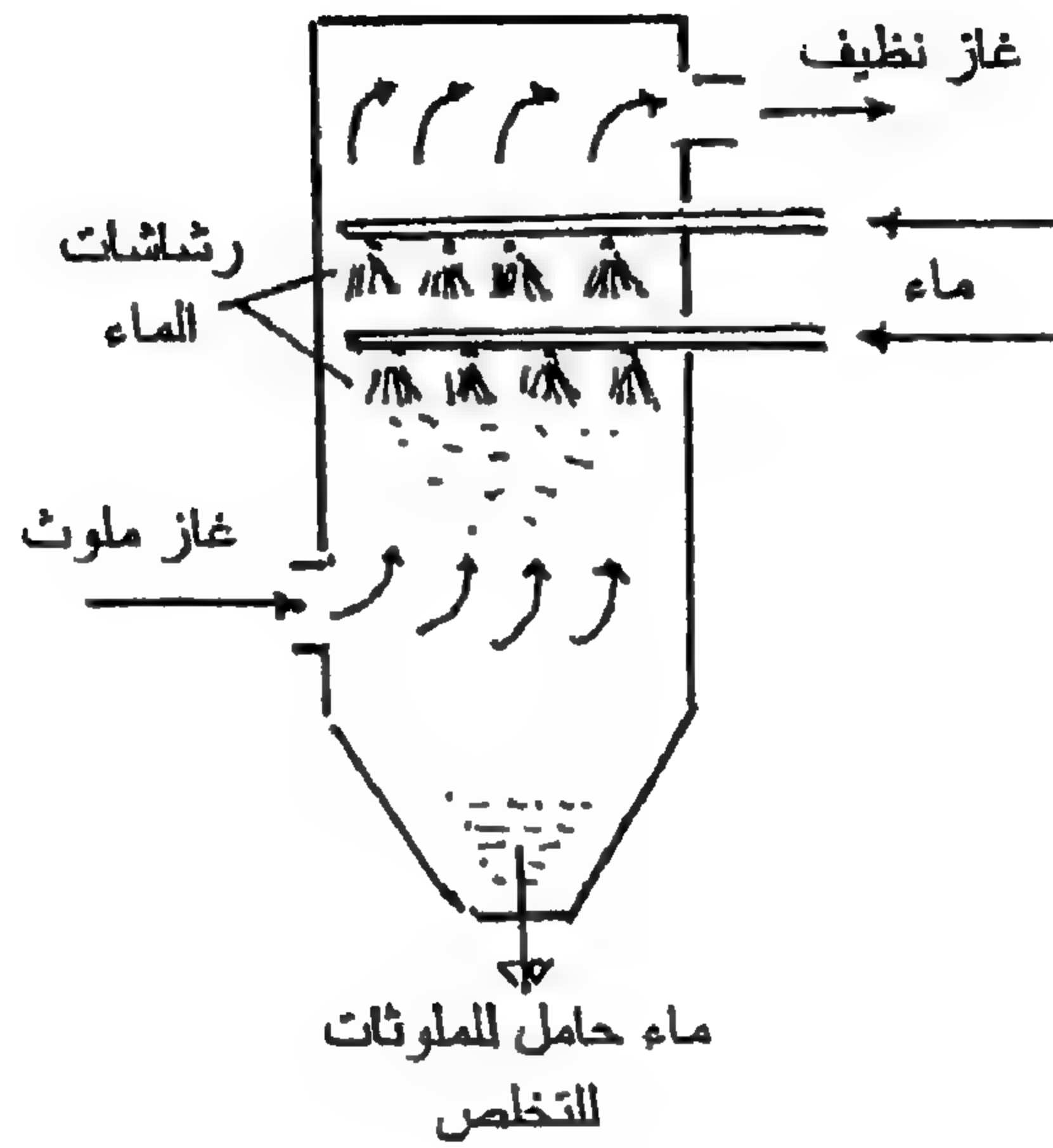
أجهزة الفرز الدوامي الحلزوني منخفضة التكاليف مقارنة بتجهيزات التنظيف الأخرى، وهي مفيدة عملياً في إزالة الغبار من غازات العمليات الصناعية. وهي من أهم التجهيزات المستخدمة في نظافة الغازات الصناعية. ولكن هذه التجهيزات عموماً ليست كافية لتحقيق نوعية الهواء طبقاً لمعايير النظافة المطلوبة. انخفاض تكلفتها الأولية وعدم الحاجة إلى عمليات الصيانة تجعل هذه الأجهزة مناسبة للاستخدام كمرحلة نظافة أولية (Precleaners) لتجهيزات النظافة النهائية الأكثر تكلفة، مثل أجهزة الترسيب الكهرواستاتيكية (Electrostatic precipitators) أو المرشحات النسيجية مثل وعاء الكيس (Bag House).

أجهزة غسيل الغاز الرطبة : (Wet scrubbers)

تجهيزات الجمع الرطبة تقوم باحتجاز الأجسام العالقة بالالتصاق المباشر مع رزاز الماء أو سائل آخر. جهاز الغسيل يقوم بنزع الأجسام من الغاز الحامل التي تصطدم وتتقاطع مع أعداد كبيرة من نقاط السائل الصغيرة. توجد أنواع كثيرة من أجهزة غسيل الغاز الرطبة منها غرفة الغسيل بالرش (Spray chambre scrubbers)، الغسيل الحلزوني بالرش (Syclone spray Scrubber)، الغسيل بالثق (Orifice scrubber)، الغسيل الرطب التصادمي (Wet Impingement)، الغسيل بالفنشوري (Venture Scrubber).

في حالة الغسيل بالرش (سواء غرفة الرش أو برج الرش)، فإن الغاز الحامل الصاعد إلى أعلى يتم غسيله برش الماء الذي يتساقط إلى أسفل من عديد من الفتحات الصغيرة (الفنى Nozzles). كما هو موضح في الشكل (٦/٢٤). يتم إعادة تدوير الماء بعد الترويق الكافي لتجنب انسداد الفتحات الصغيرة. غرفة الرش يمكنها إزالة جسيمات أكبر

من ٨٧ مليمكرون من الغاز بكفاءة تصل إلى ٩٠%. وهي تستخدم للتحكم في الغبار في صناعة الصوف الزجاجي وإنتاج ورق التنشيف (Paper Towl) وفي التطبيقات الصناعية الأخرى. يمكن زيادة كفاءة إزالة الغبار بإدخال الغاز الحامل مماساً في الغرفة، كما في غرفة الفرز السيليكوني. تأثيرات القصور الذاتي والسرعات العالية يسبب الحركة الحلزونية في السيكلون يعزز نقاط الترديز وإزالة الجسيمات.



شكل (٦/٢٤) برج الرش

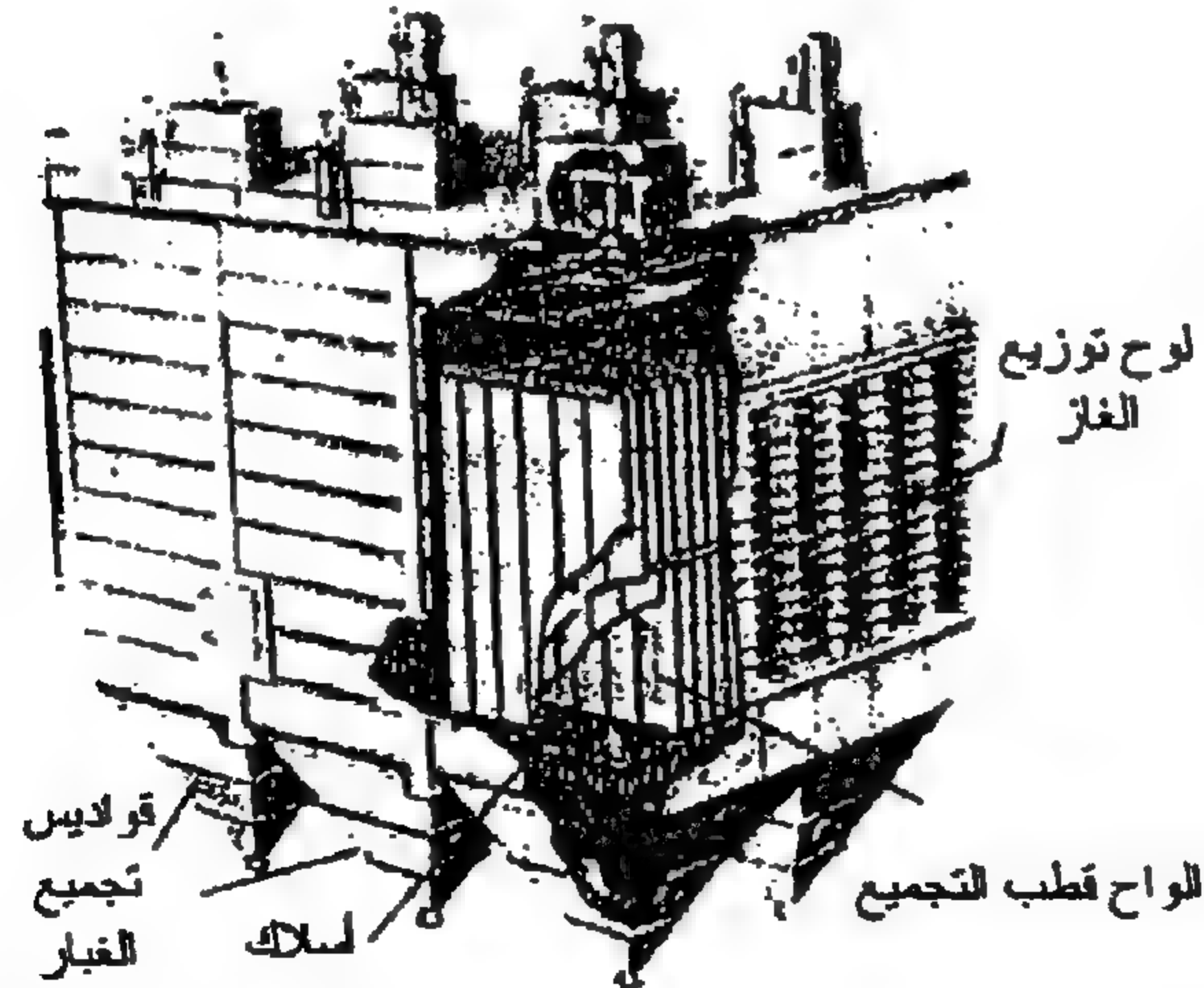
أحد أنواع الغسيل التي تزيل الجسيمات العالقة من الغاز الحامل

في الغسيل بالبتق والتصادم الرطب، فإن خليط الغاز والنقط تصطدم مع السطح الصلب. أجهزة الغسيل هذه لها ميزة المعدل المنخفض لتدوير المياه وكفاءة المعالجة حوالي ٩٠% للأجسام أكبر من ٢ مليمكرون. أجهزة الغسيل بالفنشوري (Venture) هي الأكثر كفاءة من بين أجهزة التجميع الرطب، حيث تحقق نسبة إزالة أكثر من ٩٨% للجسيمات ذات قطر أكبر من ٠,٥ مليمكرون. كفاءة الغسيل تتوقف على السرعة النسبية ما بين النقاط (Droplets) والجسيمات. الغسيل بالفنشوري يوفر أعلى سرعات نسبية بحقن الماء في زور الفنشوري (الزور هو تقلص في مسار الغاز) الذي خلاله يمر الغاز بسرعة حوالي ٧٥ متراً في الثانية. أجهزة الغسيل بالفنشوري سهلة الإنشاء والصيانة ولكنها تحتاج إلى خفض كبير في الضغط لتعمل.

أجهزة الترسيب الكهروستاتيكية : (Electrostatic Precipitators)

أجهزة الترسيب الكهروستاتيكية هي الطريقة المستخدمة عادة في إزالة الجسيمات الدقيقة من تدفقات الغاز، وخاصة في محطات توليد الطاقة. في المرسيب الكهروستاتيكي الأجسام العالقة في تدفقات الغاز الحامل يعطى لها شحنة كهربية مع دخولها الوحدة وبذا تزال من تدفقات الغاز بتأثير المجال الكهربى. غرفة الترسيب أو الصندوق تحتوى على عوائق توزيع تدفقات الغاز، أقطاب صرف وتجميع ونظام نظافة الغبار، وقواديس تجميع. يستخدم تيار مستمر على الجهد لنظام قطب الصرف (Discharge Electrode) وذلك لإعطاء شحنة كهربية للأجسام والتي عندئذ تتجذب نحو أسطح التجميع حيث تصبح محتجزة.

في نموذج للمرسيب الكهروستاتيكي الموضح في الشكل (٦/٢٥)، تشمل أسطح التجميع مجموعة من الألواح المعدنية الضخمة المتوازية المستطيلة المعلقة عمودياً فى منشأ صندوقى. عادة يوجد مئات من الألواح ولها إجمالى مساحة سطحية نحو مئات أو آلاف الأمتار المربعة. تعلق سلسلة من أسلاك أقطاب الصرف سالبة الشحنة بين كل ألواح التجميع الموصلة أرضى (Grounded)، حيث يستخدم فولت مرتفع حتى ١٠٠٠٠٠ فولت. الأجسام العالقة تكتسب شحنة سالبة مع سريان فى وخلال غرفة الترسيب.



شكل (٦/٢٥) مقطع فى جهاز الترسيب الكهروستاتيكي

الأجسام التى تلتصق بالأواح الجمع ذات الشحنة الموجبة تزال من أن إلى آخر عند الاهتزاز الميكانيكى للألواح أو الطرق. الطرق هو تقنية ميكانيكية لفصل الأجسام المحتجزة من ألواح الأقطاب، والتى تكون مغطاة بطبقة من الغبار بسمك ٦ ملليمتر

(٠,٢٥ من البوصة). الطرق يكون إما بالنفض (طريقة واحدة) أو من النوع الهزاز. الأجسام التي تفقد الشحنة للصرف يتم تجميعها في حلة القادوس عند قاع الوحدة حيث تزال للتخلص النهائي (عادة بالردم في التربة).

جهاز الترسيب الكهروستاتيكي يمكنه إزالة الأجسام الصغيرة حتى قطر ١ ملليمكرون بكفاءة تزيد عن ٩٩%. بالنسبة للأجسام الأكبر قد تزيد كفاءة الإزالة عن ٩٩% عندما يكون تركيز الأجسام العالقة في الغاز الحامل مرتفعاً، يتم عادة إنشاء غرفة ترسيب بالجاذبية أو الفرز الدوامي الحلزوني قبل المرسب الكهروستاتيكي وذلك للنظافة الأولية للغاز.

كفاءة الإزالة للمرسب الكهروستاتيكي شديدة الحساسية بالنسبة لسرعة وتوزيع مسار تدفق الغاز عبر الألواح. التدفق يجب أن يكون بطيئاً ومنتظماً، خلال كل الألواح بالتساوي ومن القمة إلى القاع. كفاءة الإزالة هي كذلك دلالة لإجمالي المساحة السطحية للجمع ويمكن التعبير عنها بالمعادلة الآتية :

$$E = 100 \times (1 - e^{-WA/Q})$$

حيث :

E = النسبة المئوية للكفاءة الإزالة

E = الأساس اللوغاريتمي العالمي.

W = هي السرعة المؤثرة لتيار التدفق

A = المساحة الكلية

Q = معدل تدفق الغاز خلال الوحدة

السرعة المؤثرة لتيار التدفق، تعرف بالسرعة التي عندها يقترب الجسم من اللوح في المجال الكهربى، يتم الحصول عليها من التجارب النصف صناعة (Pilot Studies).

مثال رقم (٦) :

ما هي الكفاءة المتوقعة للمرسب الكهروستاتيكي الذى له إجمالي مساحة سطحية للألواح ٥٠٠٠ متر مربع، معدل سريان ١٥٠ متر مكعب فى الثانية، السرعة المؤثرة

لتيار التدفق ٠,١ متر في الثانية؟ ما هي الكفاءة في حالة زيادة مساحة الألواح إلى ٧٥٠٠ متر مربع أو إلى ١٠٠٠٠ متر مربع.

الحل :

بالنسبة لمساحة ٥٠٠٠ متر مربع:

$$E = 100 \times (1 - e^{-0.1 \times 5000 \times 150})$$

$$= 96.4 \%$$

بالنسبة لمساحة ٧٥٠٠ متر مربع

$$E = 100 \times (1 - e^{-0.1 \times 7500 \times 150})$$

$$= 99.3 \%$$

بالنسبة لمساحة ١٠٠٠٠ متر مربع

$$E = 100 \times (1 - e^{-0.1 \times 10000 \times 150})$$

$$= 99.9 \%$$

يمكن ملاحظة أنه أعلى من ٩٩% كفاءة، فإن الزيادة النسبية الكبيرة في مساحة سطح جهاز الجمع تحقق أدنى زيادة في كفاءة الإزالة.

إقامة وحدات الترسيب في وحدة إنتاج الطاقة أو في مصنع يمثل استثمارات ضخمة للمالك. كفاءة الإزالة هو الضامن لها بما يحقق التطابق مع قوانين حماية البيئة بالنسبة لنوعية الهواء. لهذا فإن صانع جهاز الترسيب الكهروستاتيكي يقوم ببناء واختيار نموذج مطابق لكل وحدة في المعمل وذلك قبل الإنشاء في الموقع. بهذا فإن الترتيب والشكل المطلوب لأعمال الأنابيب، والعوائق يمكن تحديدها مسبقاً لتوفير سرعات سريان متساوية عبر الألواح.

رغم أن تكاليف الإنشاء ومتطلبات المساحة الأرضية كلاهما مرتفعاً إلا أن تكاليف التشغيل للمرسيب الكهروستاتيكي منخفضة نسبياً. يمكن تداول تدفقات الغاز العالية حتى ٥ مليون قدم مكعب في الدقيقة وعند درجة حرارة حتى ٦٥٠°م بكفاءة. الجسيمات ذات حجم من ٠,٠٥ إلى ٢٠٠ ميكرون يمكن إزالتها بالمرسيب الكهروستاتيكي مع فقد قليل جداً في الضغط.

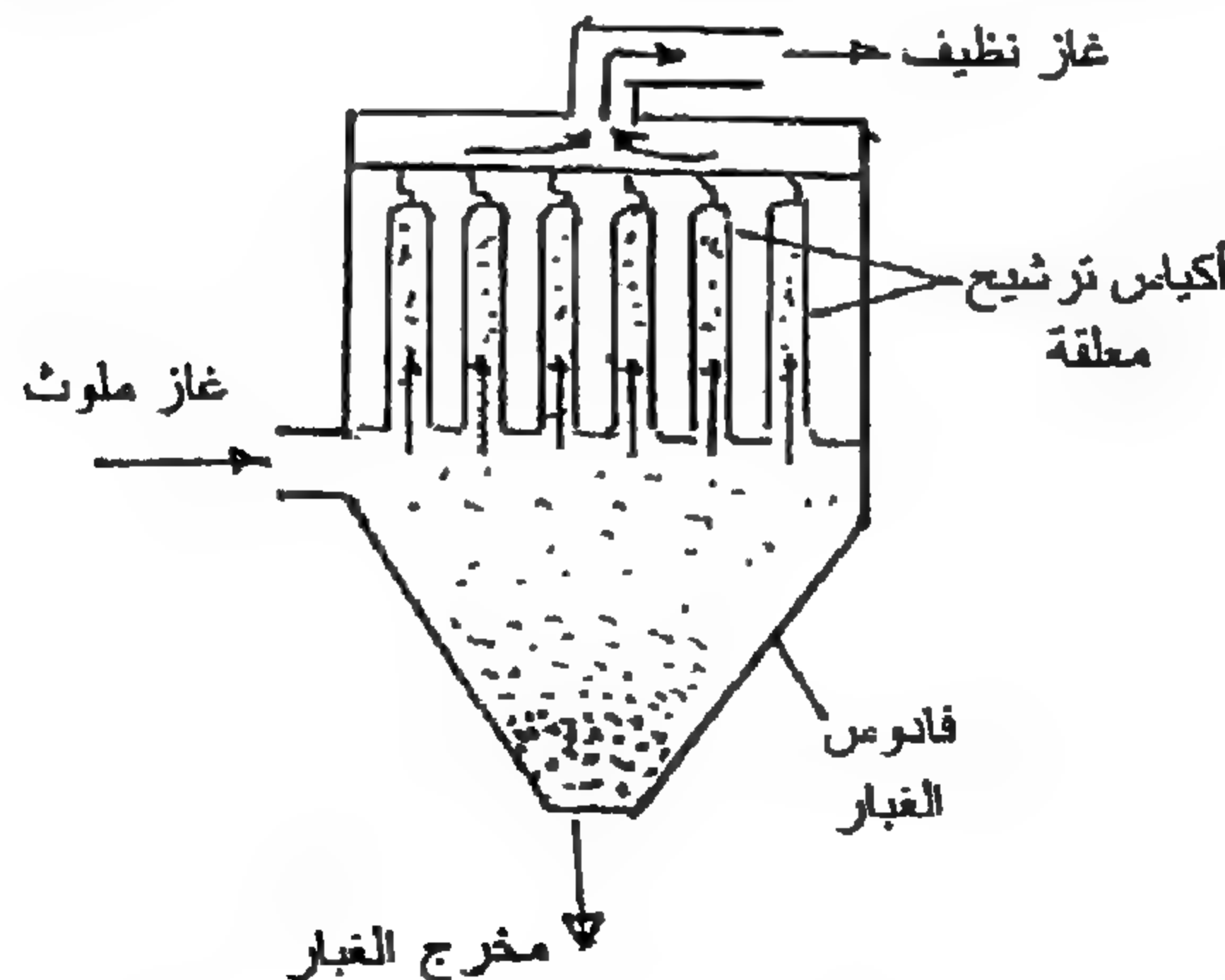
المرشحات النسيجية : (Fabric Filters)

من بين أفضل التجهيزات لإزالة الجسيمات العالقة من تدفقات الغاز هي المرشح من النسيج والذي يسمى عادة (Bag house)، المرشح النسيجي يشمل سلسلة من المرشحات النسيجية في شكل جيوب طويلة وضيقة، والتي تكون معلقة بشكل مقلوب في وعاء ضخ الموضح في الشكل (٦/٢٦). الجيوب (Bags) تكون عادة بقطر ما بين ١٢٥، ٣٠٠ ملليمتر.

الغاز المحمل بالغبار يتم دفعة خلال قاع الوعاء الضخم بواسطة مراوح، الجسيمات تحتجز داخل جيوب الترشيح النسيجية، بينما يمر الغاز خلال نسيج المرشح ويخرج من أعلى الوعاء. المرشح النسيجي هو من أقدم تجهيزات تنظيف الهواء والتي تستخدم عادة، حيث يوجد في الولايات المتحدة ما يزيد عن ٢٠٠٠٠٠ من هذا النوع.

كفاءة الإزالة لمرشح جمع الغبار النسيجي يمكن أن تصل إلى ١٠٠% للأجسام ذات قطر أصغر من ١ ملليمكرون، والأجسام الصغيرة حتى ٠,٠١ ملليمكرون يمكن إزالتها إلى حد كبير. ولكن المرشحات النسيجية تسبب فقدا كبيرا في الضغط وهي مكلفة من ناحية التشغيل والصيانة، كما أن الغاز الحامل يجب أن يتم تبريده قبل المرور خلال الوحدة، ومواسير التبريد اللازمة لهذا الغرض تضيف إلى التكاليف.

إنشاءات المرشحات النسيجية تقسم إلى إما أن تكون ذات طاقة منخفضة (تداول حتى قليلا من آلاف القدم المكعب في الدقيقة) أو ذات طاقة متوسطة (تداول حتى ١٠٠٠٠٠ قدم مكعب في الدقيقة) أو ذات طاقة عالية (تداول حتى واحد مليون قدم مكعب في الدقيقة).



شكل (٦/٢٦) مقطع في مرشح الأكياس. يمكن التنظيف بالاهتزاز الميكانيكي

عادة يتم استخدام غرف الترسيب بالجاذبية أو الترسيب بالسيلكون الحلزوني قبل استخدام المرشح الذي يعمل بالجيوب النسيجية وذلك لخفض حمل الأجسام على جيوب المرشح وكذلك لتقليل دورات النظافة الزمنية للجيوب. يستخدم عادة عدة أقسام لمرشحات الجيوب النسيجية في وحدة المرشحات الواحدة بما يمكن من نظافة أحد الأقسام بينما تظل الأقسام الأخرى في الاستخدام. الجيوب يتم نظافتها بواحد من عدة طرق والأجسام التي يتم تجميعها تزال للتخلص النهائي.

توجد ثلاث طرق هامة لنظافة المرشح وتشمل الهزازات (Shakers)، النظافة بعكس التدفق (Reverse Flow) نبضة الانبثاق للتنظيف (Pulse Jet Cleaning). نظام النظافة بالاهتزاز يفصل الغبار المتجمع من النسيج بالاهتزاز الميكانيكي وذلك باستخدام آلية تعمل بالمحرك أعلى الجيب. تدفق الغاز الحامل الملوث يتم إيقافه أثناء عملية التنظيف المتقطع، يتم تنظيف قسم ترشيح واحد فقط في كل مرة وذلك بعد عزله. بعد دقيقة تقريباً من الاهتزاز فإن الغبار يرسب ثم تستأنف عملية الترشيح.

في النظافة بعكس التدفق يتم فصل الغبار عن النسيج بالتدفق العكسي منخفض الضغط للهواء، في استخدامات درجة الحرارة العالية، فإن استخدام الغاز النظيف الساخن بدلاً من الهواء الذي في درجة حرارة الجو. التدفق العكسي للهواء أو الغاز يتم بواسطة مروحة منفصلة، والتي تكون أصغر كثيراً عن مروحة النظام الرئيسي.

جيوب المرشح عموماً تحتوي على حلقات التي تحافظ على عدم الانهيار أثناء انعكاس التدفق. النظافة بالتدفق العكسي تستخدم أساساً في المنشآت التي تعمل بالجيوب النسيجية ذات الطاقة العالية. في طريقة النظافة بنبض الانبثاق، فإن النبضات للهواء المضغوط على الضغط تسبب موجات صدمية التي تعمل على تخلص الغبار من سطح نسيج الجيب. النبضات تستمر فقط لجزء من الثانية، ووحدة المرشح لا تحتاج إلى التقسيم لنظافة وحدات معزولة، كل جيب يتم نبضه كل عدد قليل من الدقائق، بما يسمح بالتدفق المستمر للهواء المحمل بالغبار خلال وحدة المرشح. كل جيب يكون بداخله حلقات أقفص لمنع من الانهيار.

التحكم في الغازات : (Control of Gases)

ملوثات الهواء الغازية يمكن التحكم فيها باستخدام طرق الامتصاص والادمصاص (Absorbption and adsortion) تشبه للتقنيات المستخدمة لأخذ عينات الهواء، ولكن على

مستوى أكبر وأضخم. الطريقة الثالثة في التحكم في انبعاثات الغازات تشمل الحرق. طريقة التحكم المطلوبة يتم اختيارها على أساس خواص وطبيعة الغاز أو البخار الجارى التعامل معه.

التعبير غاز (Gas) أو بخار (Vapour) عادة يتم استخدامه بشكل متماثل، ولكن يوجد اختلاف واضح بين الاثنين - الفرق هو أن الغاز لا يتم تكثيفه بسرعة إلى الحالة السائلة، بينما البخار، رغم أنه موجود في الحالة الغازية فإنه يمكن أن يتحول إلى سائل. البخار يمكن أن يوجد كجزيئات منتشرة وحرارة الحركة عند درجة حرارة ليست بعيدة عن نقطة الندى (Dew point)، أو درجة الحرارة التي عندها البخار النقي عند الضغط الجوى سوف يتكثف إلى الشكل السائل. الأكسجين والنيتروجين في الهواء الجوى، كمثال، يعتبرون غازات، ولكن الماء أو الرطوبة في الهواء تعتبر بخارا. معظم الكيماويات العضوية المتطايرة (Volatile Organic Chemicals - VOC'S) هي أبخرة (مع استثناءات قليلة مثل الميثان والمركبات الأخرى VOC'S ذات درجة حرارة الغليان المنخفضة). التفرقة والتمييز بين الغازات والأبخرة يعتبر هاما حيث تستخدم تقنيات مختلفة للتحكم. الأبخرة كمثال، سريعة الادمصاص على الأسطح أو التكثيف إلى الحالة السائلة.

الامتصاص : (Absorbption)

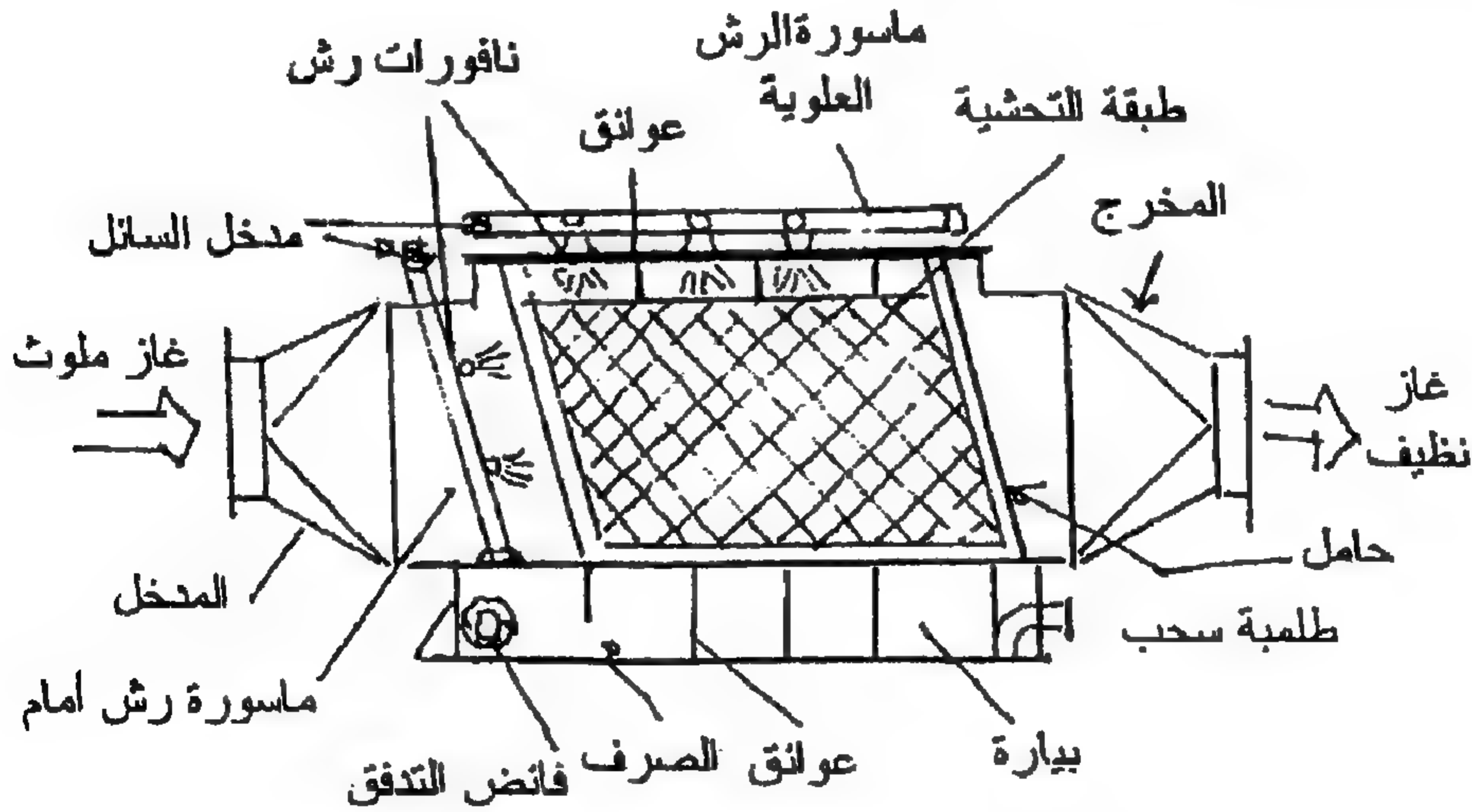
تحول الملوث الغازى إلى سائل التصاق مثل الماء هو عملية امتصاص، إما أن الغاز يجب أن يكون مذابا في السائل أو باستخدام سائل نشط للامتصاص لاحتجاز الملوث بالتفاعل الكيماوى. كفاءة إزالة الغاز تتوقف على إذابة أو قدرة التفاعل للغاز، معدل سريان الغاز والسائل، وزمن الالتصاق بين الغاز والسائل. استخدامات امتصاص الغاز للتحكم في تلوث الهواء تشمل إزالة ثانى أكسيد الكبريت من مصادر الاحتراق، استعادة الأمونيا في صناعة الأسمدة، والتحكم في الرائحة من المصانع المسببة لها. أجهزة الغسيل الرطب التي تشبه تلك المستخدمة في التحكم في المواد العالقة يمكن أن تستخدم في امتصاص الغاز. يمكن كذلك امتصاص الغاز في أبراج الترشيح (Packed Towers). النوع العادى هو البرج ذو التدفق المعاكس. بعد دخول قاع البرج يتدفق الغاز إلى أعلى خلال عامود من مادة الحشو مبللة وخفيفة وخاملة كيماويا. ينساب السائل إلى أسفل ويتم توزيعه بانتظام خلال مادة الحشو للبرج، والذي يزيد مساحة الالتصاق بين الغاز والسائل. المستخدمة عادة هي مادة من نوع الثيرموبلاستيك في حالة امتصاص الغاز، وأحيانا

تستخدم معادن معينة أو مواد من السيراميك. أجهزة الغسيل بالتيار المعاكس لها كفاءة ما بين ٩٠ إلى ٩٥%.

تصميمات الأبراج ذات الحشو للغسيل بالتدفق الموازي أو المتعامد :

Cocurrent and Crossflow Packed Crubber

في تصميم التيار الموازي فإن تدفقات كلا من الغاز والسائل تتم في نفس الاتجاه عمودياً إلى أسفل خلال برج الغسيل. رغم أنه ليس بكفاءة تصميم التدفق المعاكس، إلا أنه يمكن أن يعمل عند معدلات تدفق أعلى للسائل لمنع انسداد مواد الحشو عندما توجد أحمال عالية من الجسيمات في الغاز الحامل. كذلك فإن الفقد في الضغط يمكن أن يكون منخفضاً ومساحة البرج يمكن أن تتخفض. تصميم التدفق العمودي حيث يتدفق الغاز أفقياً خلال مادة الحشو للبرج بينما السائل يتدفق عمودياً إلى أسفل، هذا التصميم يمكن كذلك أن يعمل مع الفقد القليل في الضغط عند وجود أحمال عالية من الجسيمات. جهاز الغسيل بالتدفق المتعامد موضح في الشكل (٦/٢٧).



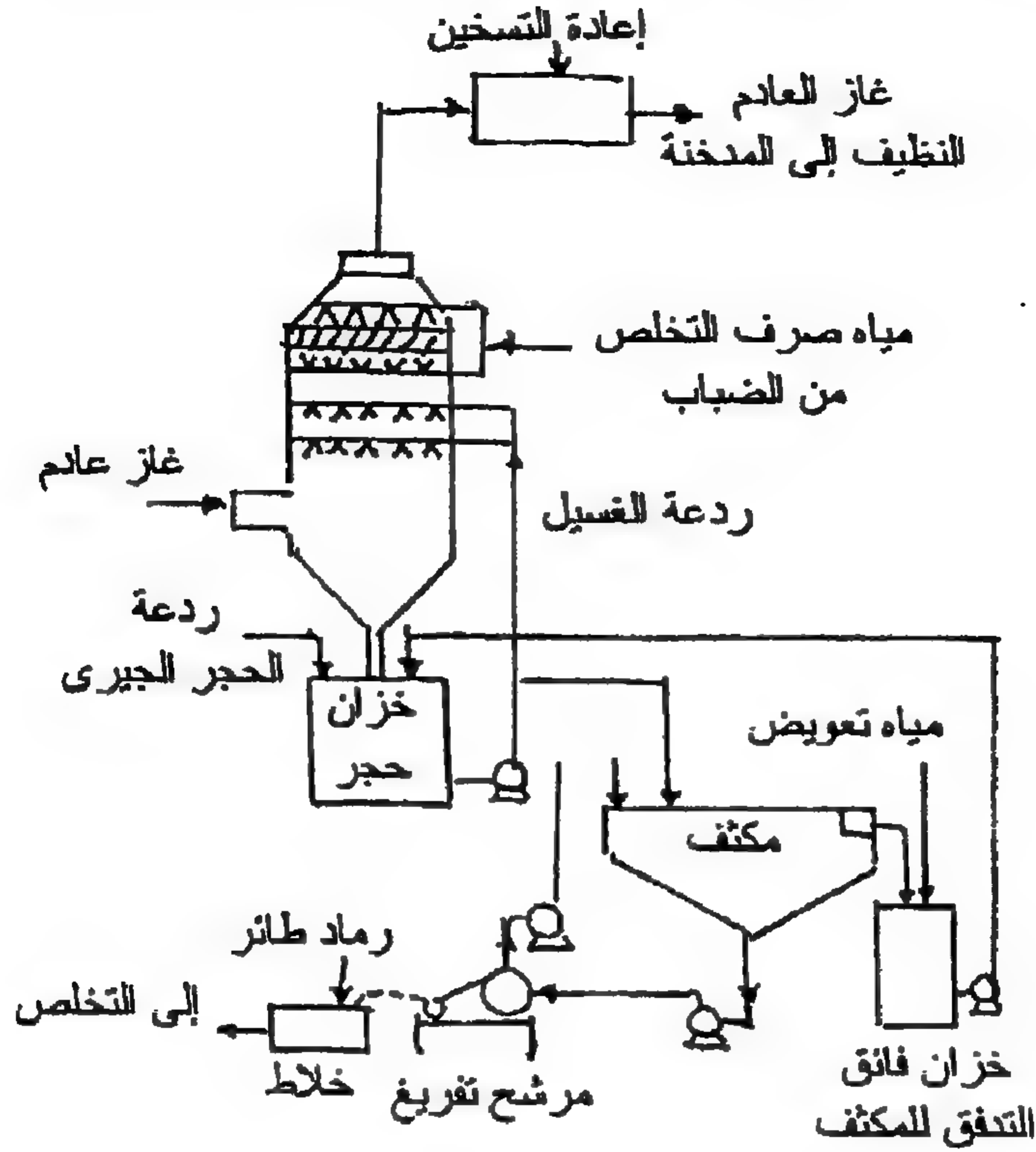
شكل (٦/٢٧) الغسيل بالتدفق المتعامد (المتقاطع)

إزالة الكبريت من الغاز العادم : (Flue Gas Desulfurization)

أكاسيد الكبريت أحد الملوثات الرئيسية للهواء، التي تنبعث من محطات الطاقة التي تعمل بالفحم يمكن التحكم فيها بامتصاص الغاز في برج الغسيل بالإضافة إلى طرق متعددة أخرى. البدائل تشمل التحول إلى وقود بمحتوى منخفض من الكبريت (أي الغاز الطبيعي أو الوقود السائل) أو بإزالة الكبريت من الفحم.

البديل المبني على الامتصاص يسمى إزالة الكبريت من الغاز العادم، هذا النظام قد يشمل الغسيل الرطب أو الغسيل الجاف. في الغسيل الرطب يتم التصاق الغازات العادمة مع السائل الماص، حيث يتفاعل ثاني أكسيد الكبريت معه أو يذوب فيه. وهذا يكون ردغة (Slurry) أو سائل الذي يحتوي على مركبات الكبريت. نظام الغسيل الجاف يوفر خفض في التكاليف وفي الطاقة وكذا سهولة في التشغيل مقارنة بالنظام الرطب، ولكنه يتطلب استهلاك أعلى للكيمياويات وهو محدد في حالة استخدامات الفحم ذو المحتوى المنخفض من الكبريت. نظم إزالة الكبريت من الغاز العادم تنقسم كذلك إلى المتجددة والغير متجددة. معظم النظم تكون غير متجددة بسبب انخفاض تكاليف الرأسمالية وتكاليف التشغيل. وهذه تنتج حماة التي تتطلب التخلص المناسب. الأنظمة المتجددة ليست عادية، حيث تتطلب خطوات إضافية لتحويل ثاني أكسيد الكبريت إلى منتج ثانى مفيد مثل حامض الكبريتيك. أحد الطرق المتعددة لإزالة الكبريت من الغاز العادم تتضمن الالتصاق بين ثانى أكسيد الكبريت والجير الحى (CaO) فى جهاز الغسيل الرطب.

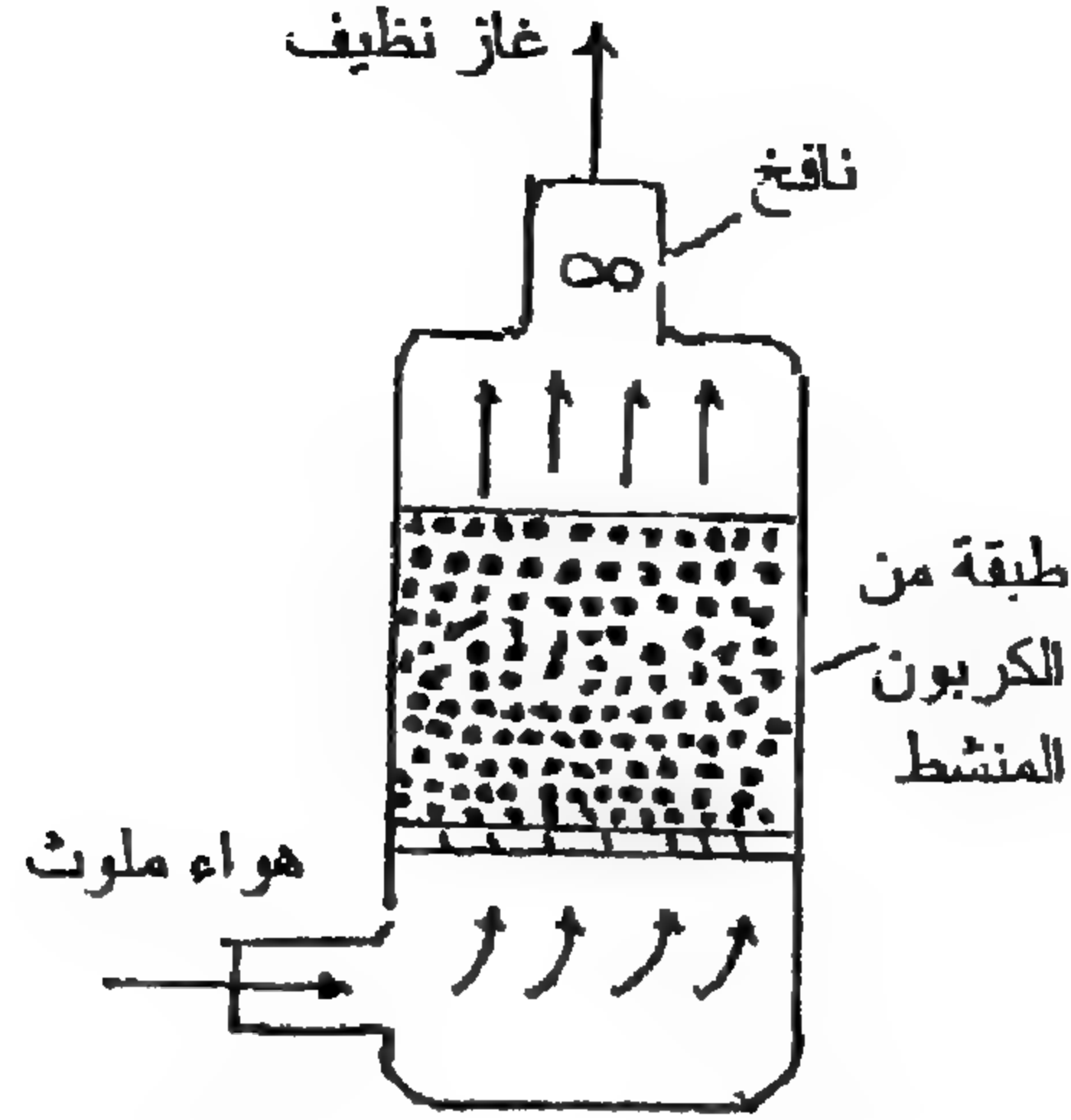
يتفاعل الجير الحى أولاً مع الماء لإنتاج لبن الجير $(Ca(OH)_2)$. فى عملية الغسيل بالجير هذه يتفاعل ثانى أكسيد الكبريت مع الكالسيوم من الجير المطفى مكوناً كبريتيت الكالسيوم وثانى أكسيد الكربون. فى حالة استخدام الحجر الجيرى $(CaCO_3)$ بدلاً من الجير الحى فإنه يتكون كبريتات الكالسيوم. طريقة الجير المطفى أكثر كفاءة (حتى ٩٥%) مقارنة بعملية الحجر الجيرى. كلا من كبريتيت الكالسيوم وكبريتات الكالسيوم ليسا شديدي الإذابة فى الماء حيث يمكن ترسيبهما كردغة بالترسيب بالجاذبية. هذه الردغة الكثيفة تسمى حماة إزالة الكبريت من الغاز العادم، وهى تشكل مشكلة للتخلص النهائى من الحمأة. عملية إزالة الكبريت من الغاز العادم تساعد فى خفض مستوى ثانى أكسيد الكبريت فى الهواء وتحد من مشكلة المطر الحمضى. ولكن بالإضافة إلى التكاليف فإنه تظل مشكلة التخلص من الحمأة التى تصل إلى آلاف الأطنان (أو ملايين الأطنان طبقاً لعدد محطات الطاقة) كل عام. مخطط لنظام الغسيل بالحجر الجيرى موضح فى الشكل (٦/٢٨).



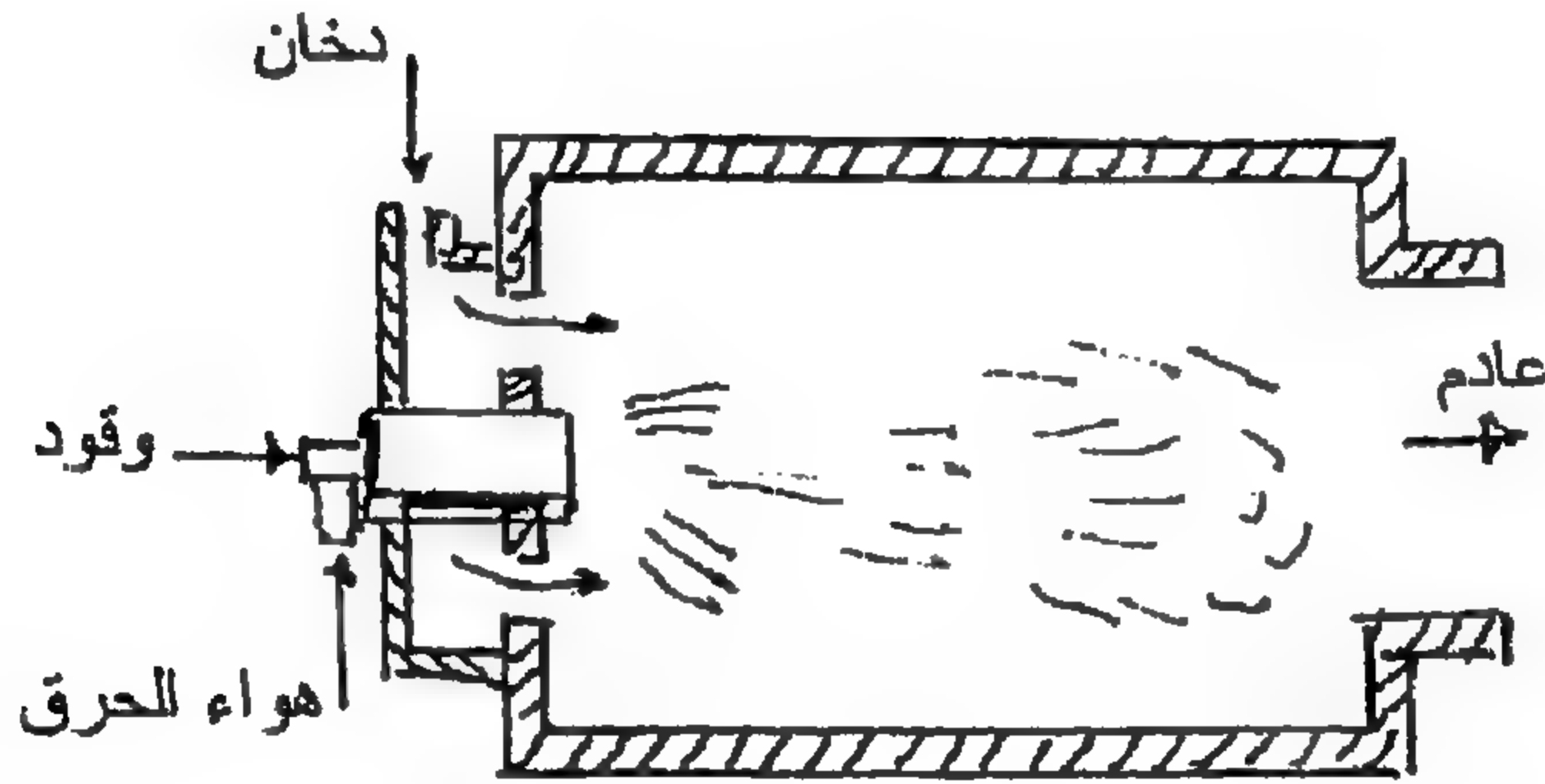
شكل (٦/٢٨) إزالة الكبريت من الغازات العادمة بالحجر الجيري

الادمصاص : (Adsorbtion)

ادمصاص الغاز مقارنة بالإمتصاص هو ظاهرة سطحية. جزيئات الغاز يتم ادمصاصها (اقرازها) أي تلتصق وتظل معلقة على السطح الصلب. الكربون المنشط هو واحد من أهم مواد الادمصاص، فهو عالي المسامية وله نسبة عالية جداً ما بين المساحة السطحية إلى الحجم. الكربون المنشط (وهو الفحم النباتي أو الحيواني الذي يتم تسخينه) مفيد بالتحديد كمادة ادمصاص لتنقية الغازات المحتوية على أبخرة عضوية وكذلك لاستعادة المذيب والتحكم في الرائحة. وحدة ادمصاص الكربون المصممة جيداً يمكن أن تكون كفاءتها أكثر من ٩٥%. الشكل (٦/٢٩) مخطط لنظام الادمصاص بالكربون المنشط.



شكل (٦/٢٩) يمكن استخدام الكربون المنشط في ادمصاص ملوثات معينة للهواء.



شكل (٦/٣٠) مخطط للحرق الحراري

الحرق : (Incineration)

عملية الاحتراق (Combusion) أو الحرق (Incineration) والتي هي الأكسدة السريعة يمكن أن تستخدم لتحويل الكيماويات العضوية المتطايرة والملوثات الأخرى العضوية الغازية إلى ثاني أكسيد الكربون وماء. حرق الكيماويات العضوية المتطايرة وأدخنة الهيدروكربونات يمكن تنفيذه في محرقة حرارية أو (After Burner) كما هو موضح في المخطط شكل (٦/٣٠). لتحقيق الاحتراق الكامل فإنه يجب أن يحقق التصميم القدر المناسب من الاضطراب (Turbulence)، زمن الحرق. درجات الحرارة العالية الكافية. استمرار الاضطراب الجيد (الخلط) هو العامل الحاسم في الحرق ذلك لأنه يقلل الزمن المطلوب للاحتراق ودرجة الحرارة. يمكن استخدام عملية تسمى الحرق باللهب

المباشر (Direct flame Incineration) عندما يكون الغاز العادم هو خليط قابل للاحتراق بذاته، ولا يحتاج لإضافة هواء إضافي أو وقود.

المحارق الحرارية تصنع من غلاف من الصلب مبطن بالطوب الحراري بسمك ١٠٠ إلى ٢٠٠ ملمتر. التبطين الحراري يحمي الغلاف من معدن الصلب ويعمل كعازل. درجة الحرارة يمكن أن ترتفع إلى ١١٠٠°م داخل غرفة الاحتراق، ولكنها أقل من ١٠٠°م على السطح الخارجي للغلاف الصلب.

الحرق يمكن أن يكون بكفاءة عالية جداً (حتى ٩٩,٩٥%) مع الوقت الكافي ودرجة الحرارة العالية الكافية، حيث المواد العضوية يمكن أن تتأكسد تماماً. الانخفاض الكلي في انبعاثات المواد العضوية المتطايرة من المصدر يتوقف ليس فقط على كفاءة المؤكسد الحراري، ولكن كذلك على كفاءة الاقتناص (Capture Efficiency) للنظام والتي يعنى بها الجزء المنبعث من الملوثات الذي يرسل فعلاً خلال جهاز الحرق. الكيماويات العضوية المتطايرة التي تهرب من الاقتناص تسمى الانبعاثات الشاردة. الكفاءة الكلية للنظام تساوى ناتج الكفاءة بعد الحرق وكفاءة الاقتناص. فمثلاً، إذا كانت كفاءة الاحتراق ٩٨% وكفاءة الاقتناص هي فقط ٥٠% عندئذ فإن الكفاءة الكلية للتحكم في التلوث هي $0,99 \times 0,5$ أو ٤٩%. الاقتناص بنسبة كفاءة ١٠٠% يمكن تحقيقه في الغلق الكلي حيث كل تدفق الهواء يكون إلى داخل السياج المغلق، عدا بالنسبة لنقط العادم، والتي يتم توجيهها إلى المحارق.

مواد معينة مثل البلاستيك، يمكن أن تعمل بالطريقة التي تساعد الاحتراق أو تفاعل الأكسدة. مثل هذه المواد تسمى عوامل وسيطة (Catalysts) حيث تحقق الأكسدة الكاملة للغازات القابلة للاحتراق عند درجات الحرارة المنخفضة. المحارق الحفازة (Catalytic Incinerator) يحقق حدوث تفاعلات الاحتراق بسرعة وعند درجة حرارة منخفضة حتى ٤٠٠°م. تجهيزات الحرق التي تسمى المحولات الحفازة Catalytic convertors تنشأ في نظام العادم للسيارات لخفض انبعاثات أول أكسيد الكربون والهيدروكربونات باكسدتها إلى H_2O , CO_2 نظم اللهب المباشر هي طريقة أخرى للحرق للتخلص الآمن من الغازات (مثل غاز الميثان في معامل تكرير البترول)، وفي مصانع الكيماويات.. الخ. يتم الصرف المستمر للغاز من مدخنة مرتفعة، حيث يحدث الاحتراق في غرفة عند أعلى المدخنة. يمكن استخدام دافع (Blower) لدفع الهواء وتوفير الخلط المطلوب للحرق بدون دخان للغازات العادمة.

التحكم فى انبعاثات المصادر المتحركة :

(Emission Control for Mobile sources)

السيارات، اللوريات، الأوتوبيسات، الدرجات البخارية .. الخ هى المصادر الرئيسية المتحركة لتلوث الهواء، رغم أن القوارب، القطارات، الطائرات تساهم فى المشكلة. انبعاثات التلوث من هذه المصادر المتحركة كبيرة. فمثلاً فى عام ١٩٩٠ حوالى ثلثى انبعاثات أو أكسيد الكربون فى الولايات المتحدة كان مصدره المصادر المتحركة ومعظمها من السيارات، فى بعض المناطق المتحضرة قد تصل انبعاثات أول أكسيد الكربون من هذه المصادر إلى ٩٥%. ولكن نظراً لحركة هذه المصادر وكثرة عددها بما يوجد صعوبة فى التحكم من انبعاثاتها مقارنة بالمصادر الثابتة. كذلك فإن المصادر المتحركة هى قريبة من المستقبل - المواطنين الذين يعيشون فى المدن خاصة.

بالإضافة إلى أول أكسيد الكربون، فإن الانبعاثات المتحركة تشمل أكسيد النيتروجين والمركبات العضوية المتطايرة. ثانى أكسيد الكبريت وانبعاثات الجسيمات أقل بالنسبة للمشكلة، بسبب إزالة الكبريت من الوقود (Desulfurization)، انخفاض عدد السيارات التى تعمل بوقود الديزل، والحالة الجيدة لمحركات السيارات. فى كثير من الدول تكون انبعاثات ثانى أكسيد الكبريت والجسيمات ذات علاقة بالتلوث وكذلك انبعاثات الرصاص والذى تم إبعاده بعد استخدام الجازولين الخالى من الرصاص (Unleaded Gasoline).

محركات الاحتراق الداخلى : (Internal Compustion Engines)

محركات الاحتراق الداخلى التى تعمل بحرق الجازولين وذات الأربع أشواط (Four Stroke) هى من أكبر المركبات على الطرق العامة ذلك رغم وجود أنواع أخرى مستخدمة أيضاً وخاصة فى الدول النامية. توجد أربع نقط انبعاث رئيسية من محركات الاحتراق الداخلى، شاملة العادم أو الشكمان، صرف علبة المرافق (Crank case)، المكربن (Carburetor)، خزان الوقود. الهيدروكربونات وأول أكسيد الكربون. وأكاسيد النيتروجين تأتى من العادم، الجازولين الغير محروق والهيدروكربونات يأتیان من علبة المرافق، والهيدروكربونات تتبخر من كل من المكربن وخزان الوقود.

الفقد بالبخر من خزان الوقود والمكربن يتم التحكم فيها باستخدام مكثف الكربون المنشط الذى يحتجز (Stores) الأبخرة المنبعثة عند توقف المحرك. عند تشغيل المحرك فإن الأبخرة تسيل من علبة المرشح (Canister) وتحترق فى المحرك. انبعاثات عامود الإدارة يتم التحكم فيها بواسطة نظام التهوية الموجبة لعامود الإدارة والذى يعمل على

تدوير الغازات التي تتزلق بواسطة حلقات منع التسرب للكباس (Piston) إلى وصلات المأخذ للمحرك. يستخدم محبس عدم الرجوع من البى فى سى لمنع تراكم الضغط فى علبة المرافق للمحرك.

انبعاثات العادم من ماسورة عادم السيارة والذي يمثل حوالى ٦٠% من انبعاثات الهيدروكربونات وكل انبعاثات أول أكسيد الكربون وأكسيد النيتروجين، تتوقف على طريقة عمل السيارة. زيادة السرعة ينتج عنها خفض انبعاثات أول أكسيد الكربون والهيدروكربونات ولكن انبعاثات أكاسيد النيتروجين تزداد، تبطئ السرعة ينتج عنه انخفاض انبعاثات أكاسيد النيتروجين ولكن مستويات الهيدروكربونات تزداد كثيراً من الحرق الغير كامل للوقود. بسبب هذه المتغيرات فإن طرق اختيار انبعاثات العادم أصبحت موصفة (Standardized) بحيث تكون نتائج الاختبارات ذات معنى.

انبعاثات العادم من ماسورة عادم السيارة يتم التحكم فيها باستخدام المحول الحفار (Catalytic Converter) وهذه تجهيزة يتم تركيبها فى ماسورة العادم قبل كاتم صوت العادم (Muffler). وهذا يسمى بالأكسدة الكاملة للغازات القابلة للاحتراق فى العادم عند درجة حرارة منخفضة نسبياً، هذا بالإضافة إلى أن المحول الحفار يسبب عدم حدوث دخان فى الاحتراق. أول أكسيد الكربون والهيدروكربونات الغير محترقة فى العادم تتحول إلى ثانى أكسيد الكربون والماء. ولكن أى كبريت فى الجازولين يتأكسد إلى جسيمات ثالث أكسيد الكبريت، وبذا تزداد مستويات الكبريت فى الهواء.

لزيادة الخفض فى انبعاثات التلوث من محركات السيارات التى تعمل بالجازولين، فإنه يمكن تطوير معالم معينة لتشغيل أو تصميم المحرك. فمثلاً، زيادة نسبة الهواء إلى الوقود تساعد على الاحتراق وبذا تقل انبعاثات أول أكسيد الكربون والهيدروكربونات. المكربن ليس بالكفاءة الجيدة نحو التحكم الدقيق فى نسبة الهواء إلى الوقود، السيارات الجديدة مزودة حالياً بالتحكم الآلى فى حاقنات الوقود والذي يعيق أقصى كفاءة لخليط الهواء والوقود لمختلف حالات القيادة للسيارة.

تصميم هام آخر يؤثر على الانبعاثات يشمل نسب الضغط وتوقيات شمعات الإشعال. نسب الضغط العالية تنتج قوة أكبر، ولكن درجة الحرارة المرتفعة المصاحبة تنتج انبعاثات أكثر من أكسيد النيتروجين. انبعاثات الهيدروكربون وأكسيد النيتروجين يمكن خفضهما بتأخير الإشعال، ولكن هذا يقلل من كفاءة المحرك. من الواضح فإن

التحكم فى الانبعاثات الملوثة للهواء من محركات الاحتراق الداخلى هى مشكلة معقدة. نتيجة للسيطرة على الانبعاثات من محركات الاحتراق الداخلى التى تعمل بالجازولين، فإن السيارات يمكن أن تخفض من انبعاثات التلوث بنسبة ٦٠%، ولكن إجمالى مسافات سير العربات تتضاعف باستمرار، حيث تظل هناك تحديات كثيرة لخفض تلوث الهواء من السيارات.

تغير الوقود :

مكونات الوقود هو عامل آخر للانبعاثات من المصادر المتحركة، حيث تغير أو تطوير الوقود يمكن أن يقوم بدور هام بالتحكم فى تلوث الهواء من هذه المصادر. إزالة الملوثات من الوقود طريقة واضحة لخفض التلوث. الرصاص الذى كان يتم خلطه مع الجازولين لزيادة الرقم الأكتينى وكفاءة المحرك هو من المواد التى تم استخدامها فى الجازولين. الهواء المحمل بالرصاص ليس فقط يشكل خطورة على الصحة ولكنه يتلف المحول الحفاز. وقد تم إيقاف استخدام الرصاص فى الجازولين حالياً.

مثال آخر للمواد الغير مرغوب فيها فى الجازولين وهو الكبريت، الذى لا يؤدي فقط إلى زيادة انبعاثات ثانى أكسيد الكبريت ولكن يتدخل مع عمل المحول الحفاز وبذا يساعد فى زيادة انبعاثات أول أكسيد الكربون والهيدروكربونات.

الوقود البديل الذى يمكن استبداله بالجازولين يشمل الغاز الطبيعى المضغوط، غاز البترول المسال، الميثانول، الإيثانول، البروبين، الهيدروجين. كلا من هذه المواد البديلة له مزاياه وكذلك له عيوبه. فمثلاً، الغاز الطبيعى المضغوط ينتج أول أكسيد الكربون وانبعاثات متطايرة بنسبة ٥٠% أقل ولا ينتج أهم مواد سامة فى الهواء مثل البنزين (C_6H_6)، ولكن مشكلته خاصة بالتداول والملء، والتخزين. غاز الهيدروجين لا ينتج أكاسيد الكربون أو الهيدروكربونات وله أكبر طاقة مخزنة مقارنة بأى وقود آخر، ولكن توجد تكنولوجيات عديدة ومشاكل أمان التى يلزم حلها وذلك قبل أن يصبح الهيدروجين الوقود البديل العملى للسيارات.

الجازولين المعدل :

الوقود المؤكسد (Oxygenated fuel) وهو الوقود المخلوط أو المشبع بالأكسجين ويحتوى على ما لا يقل عن ٢% بالوزن من المؤكسجات (Oxygates)، والتى تستبدل أو تخفف مركبات ذات احتياج أقل والتى تساعد على الحرق النظيف وخاصة فى الأجواء

الباردة. هذا الخلط مع الجازولين له حدود كذلك على كميات البنزين (C_6H_6) والسميات الأخرى وكذلك الهيدروكربونات التي يمكن أن تكون موجودة. هذه التقنية يمكن أن تخفض انبعاثات الملوثات بنسبة ١٥% إلا أنها تزيد من أسعار الجازولين إلى الضعف أو إلى الأربعة أضعاف ورغم ذلك فإنها لا تحتاج إلى تحديث محطات التغذية بالجازولين أو تقنيات التغذية.

وقود الديزل :

بدئ في وضع المواصفات لوقود الديزل والذي يعتبر مصدراً كبيراً للانبعاثات وذلك بالتخلص من الكبريت في الوقود. الكبريت ينتج سناج والذي يعمل على انسداد المحول الحفاز للعربة. وهذا سوف ينطبق على المحركات التي تعمل بالديزل.

السيارات ذات الانبعاث صفر :

البديل لمحركات الاحتراق الداخلي يشمل العربات التي تعمل بالطاقة الشمسية أو بالكهرباء. استخدام الطاقة الشمسية مازال في مرحلة التجارب ولكن العربات الكهربائية تستخدم حالياً. وحالياً عربات ذات الانبعاث صفر هي التي تستخدم بطاريات الرصاص الحامضية لتخزين الكهرباء.

معظم المركبات التي تعمل بالكهرباء لها مجال ١٣٠ كيلو متراً فقط قبل الحاجة إلى إعادة شحن البطارية، ولذا تعتبر مكلفة مقارنة بالجازولين التقليدي بدرجة كبيرة جداً. بعض الباحثين يرى أن الانبعاثات من عمليات إنتاج الرصاص من المناجم وصهره وتدويره لتلبية احتياجات الأعداد الكبيرة من المركبات قد يشكل خطورة على الصحة العامة بالإضافة إلى الطاقة الكهربائية الإضافية اللازمة لإعادة شحن البطاريات سيكون مصدرها محطات إنتاج الطاقة التي هي كذلك منتجة للملوثات. رغم أن السيارات التي تعمل بالكهرباء يمكن استخدامها في الاستخدامات اليومية الخفيفة إلا أنه يلزم زيادة البحث والتطوير في تكنولوجيا البطاريات وذلك قبل أن تصبح الوقود البديل لمحركات الاحتراق الداخلي.

السيارات المختلطة :

السيارة المختلطة هي التي يمكنها استخدام مصدرين للطاقة لتحريك العجلات. بعض صناع السيارات بدأوا في عمل نموذج تجريبي (Prototype) من المحركات المختلطة التي تستخدم الجازولين مع المحرك الكهربى. المحرك الكهربى يحرك العربة حتى سرعة

حوالى ٢٠ كيلو متر فى الساعة حيث قبل ذلك تكون انبعاثات الجازولين عند أقصاها. أكثر من ٢٠ كيلو متر فى الساعة فإن السيارة الصغيرة نسبياً (١,٥ لتر) يبدأ محرك الجازولين فى العمل ويصبح المصدر الرئيسى للطاقة. المحرك الكهربى يمكن كذلك أن يعمل عندما يكون المطلوب قوة كبيرة كما فى حالة صعود تل. عند تشغيل محرك الجازولين فإنه كذلك يعيد شحن البطاريات ولذا فإن السيارة لا تحتاج إلى إعادة شحن خارجى، مثل هذه السيارات المختلطة من المحتمل استخدامها لحين ظهور تكنولوجيا جيدة تحقق صفر الانبعاث من السيارات.

الفصل السابع التلوث السمعي والوقاية منه

مقدمة :

الصوت ربما يكون أسوأ منتجات أسلوب الحياة الميكانيكي الحديث. فهو لا يمكن اعتباره ضارا أو مؤذيا مثل الملوثات لإمداد مياه الشرب من الكيماويات الضارة كمثل، ولكنه مشكلة تلوث تؤثر على صحة الإنسان وراحته كما يمكن أن تساهم في الإفساد العام لنوعية البيئة. فهو يمكن أن يؤثر على الإنسان في المنزل، في مجتمعة أو في مكانه بالعمل.

التعريف البسيط، أن الضجيج هو صوت غير مرغوب فيه وغير مطلوب، إنتاج الصوت يتطلب طاقة، لذلك فإنه في طريقة الكلام فإن الصوت هو شكل من الطاقة المفقودة. فهو ليس مادة يمكن أن تتراكم في البيئة، مثل أي ملوثات أخرى، ولكن يمكن تخفيفها بالمسافة من المصدر. كل الأصوات تأتي من مصدر الصوت، سواء كان المذياع، أو آلة، أو الصوت الأدمى، أو الطائرة أو الآلة الموسيقية. ليس كل الضجيج (Sound) موسيقى وغناء (Voice). ما يمكن اعتباره موسيقى بالنسبة لشخص ما يمكن أن يكون ضجيج وصخب لشخص آخر. إلى حد ما فإن التلوث بفعل الضجيج يتوقف على ما يعتقد به.

الضجيج من حركة المرور على الطرق، الأنشطة الإنشائية، ومن المصادر الأخرى له اهتمام خاص لمهندس البيئة ومهندسى الهندسة المدنية. المعماريين، البنائين، مخططي العمران، المهتمين بالصحة العامة يساهمون في المشاكل المرتبطة بالضجيج، مثل ما يفعل المسئولين عن الأمن الصحي الصناعي، صناع المعدات.

الضجيج (Noise) هو مشكلة موجودة في كل مكان وواسعة الانتشار ويمكن أن يكون لها تأثير يتراوح ما بين الإزعاج للشخص إلى الفقد الكامل للسمع للأفراد. للتعرف على القوانين المنظمة للحد من أصوات الضجيج والإزعاج، فإنه يكون من الضروري تفهم أساسيات الصوت وقياسه وتأثيرات الضجيج.

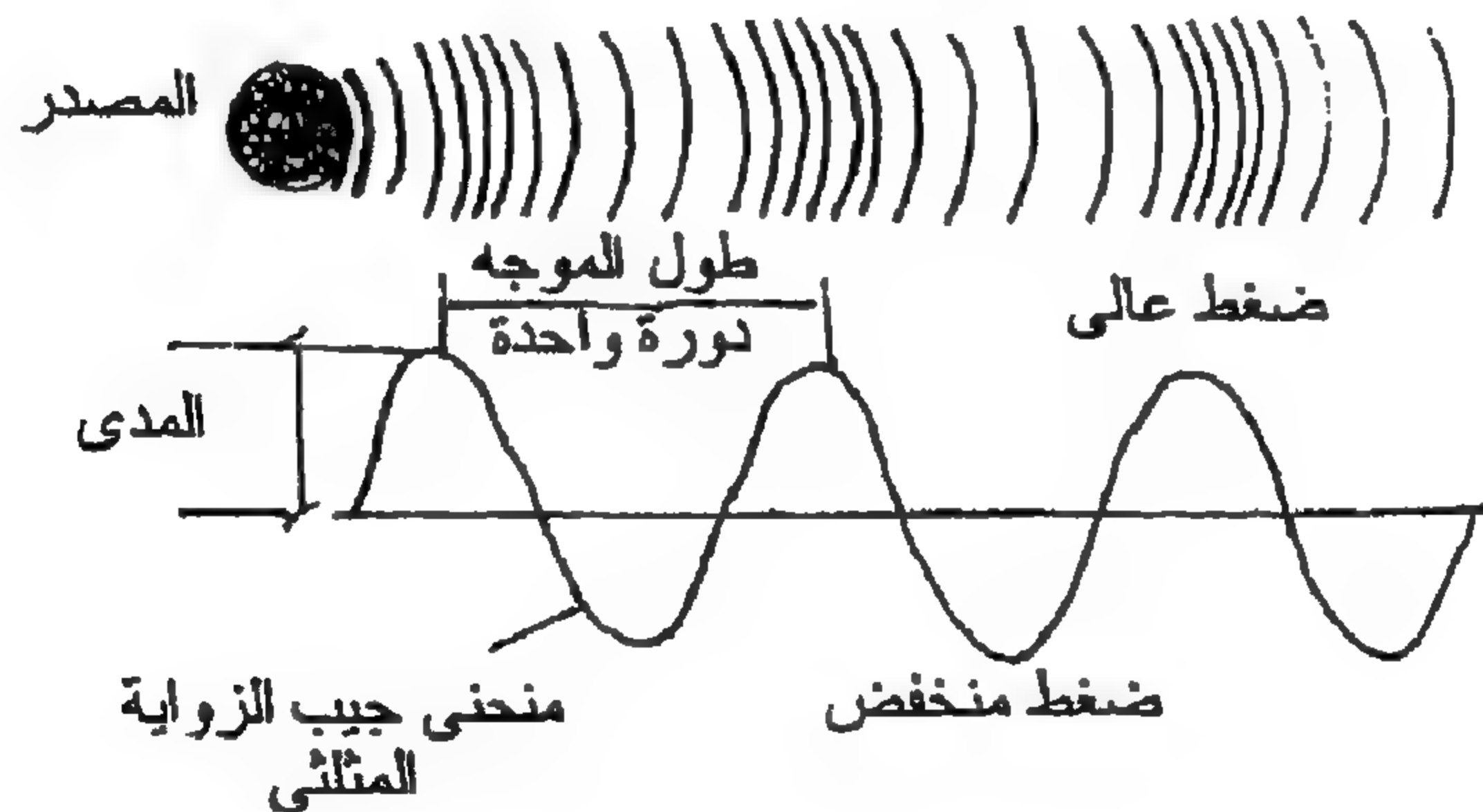
١- أساسيات فيزياء الصوت : Basic Physics of sound

طاقة الصوت تنتج من الاهتزازات الميكانيكية لمصدر الصوت. الذبذبات تتقل أو تحمل بعيدا عن المصدر في شكل موجات صوتية. الموجات الصوتية يمكن أن تنقل خلال

المواد الصلبة، السائلة، الغازية، ولكن لا يمكنها الانتقال في الفراغ (Vacuum)، حيث لا توجد مادة أو مجال لنقل الذبذبات.

في الهواء، يمكن رؤية الموجات الصوتية كسلسلة من النبضات الرقيقة السريعة أو النبضات لضغط الهواء (أو كثافة الهواء)، أعلى قليلاً أو أقل قليلاً من الضغط الجوي العادي. وهذا موضح في الشكل (٧/١) نبضات الضغط تصطدم بالأذن منتجة ما يستقبله المخ كصوت.

الجزئيات في المناطق عالية الكثافة تكون متقاربة تقريباً، الجزئيات في المناطق المنخفضة الكثافة تكون منتشرة بعيدة عن بعضها. المناطق ذات الضغط العالي والضغط المنخفض للهواء يمكن تمثيلها تخطيطياً كالارتفاعات والوديان لمنحنى جيب الزاوية المثلثي (Trigonometric Sine Curve). وهذا يشبه الموجة التي تسير على طول خيط الذي يتحرك إلى أعلى وإلى أسفل، ولكن هذا هو مجرد مخطط توضيحي. جزئيات الهواء الحاملة للموجات الصوتية هي في الواقع تذبذب أو إزاحة سريعة إلى الخلف وإلى الأمام في اتجاه الموجة، فهي لا تتحرك أو تسير على طول منحنى جيب الزاوية.



شكل (٧/١) مناطق الضغط المرتفع والمنخفض التبادلية في الموجة الصوتية يمكن تمثيلها بمنحنى جيب الزاوية المثلثي. القمم تمثل مناطق الضغط المرتفع، والمنخفضات تمثل مناطق الضغط المنخفض. أعلى وأسفل متوسط الضغط الجوي.

خواص الموجة الصوتية : Sound Wave Characteristics

المسافة بين ذرا (Peaks) الضغط (أو المنخفضات) تسمى طول الموجة. مع انتقال الصوت، تبدو الموجة كأنها تتحرك بعيداً عن مصدر الذبذبة. عدد أطوال الموجات التي يبدو أنها تعبر نقطة محددة في ثانية واحدة يسمى تردد (Frequency) الموجة ارتفاع الذرا

(Peaks) يسمى اتساع أو نطاق الموجة (Amplitude of the Wave)، يمثل كثافة الضغط ولها علاقة بحجم أو الارتفاع لاستقبال الصوت.

طول الموجة الواحدة يسمى دورة (Cycle). يمكن التعبير عن التردد بوحدات التردد في الثانية (Cycles Per second)، ولكن المصطلح هيرتز (Hertz) أو (HZ) هو المستخدم عادة حالياً. هيرتز واحد يكافئ دورة واحدة في الثانية (1 HZ = 1CPS). الموجة الصوتية ذات التردد ١٠٠٠ هيرتز مثلاً، هي تلك التي تمر موجات الضغط لنقطة معينة بمعدل ١٠٠٠ دورة في الثانية. طريقة أخرى لرؤية تردد الموجة الصوتية هي باعتبارها كعدد المرات التي يصل فيها ضغط الهواء القيمة القصوى (الذروة) [أو ما يسمى بنطاق الموجة] في ثانية واحدة عند أي نقطة معينة في الهواء. إذا كان ضغط الصوت (أعلى أو أقل من الضغط الجوي) عند أي نقطة معينة ويتم تربيته على مخطط كدلالة للوقت، فإنه يتكون منحنى جيب الزاوية.

لا يتم الخلط بين التردد (Frequency) مع سرعة الصوت (Speed of Sound)، والتي هي ثابتة في مجال انتقال معين. فمثلاً، موجة الصوت تسير بسرعة حوالي ١٥٠٠ متراً في الثانية في الماء وحوالي ٥٠٠٠ متر في الثانية في الصلب، في الهواء عند الضغط العادي ودرجة الحرارة العادية يسير الصوت بسرعة ثابتة حوالي ٣٤٠ متر في الثانية.

إذا أمكن رؤية وهج ضوئي، كمثال، ثم بعد مرور الثلاث ثوان أمكن سماع الرعد، فإنه يمكن القول أن الوهج الضوئي حدث (٣ ثانية × ٣٤٠ متر في الثانية = ١٠٢٠ متر أو حوالي واحد كيلو متر بعيد عن مكان القائم بالملاحظة).

توجد علاقة هامة بين الخواص الرئيسية الثالث لموجة الصوت. طول الموجة، التردد، السرعة. سرعة الموجة تساوي حاصل ضرب طول الموجة في التردد. وهذا يعبر عنه ببساطة كالآتي :

$$v = \lambda \times F$$

حيث :

v = سرعة الصوت متر في الثانية أو قدم في الثانية.

λ = طول الموجة بالمتر أو القدم للدورة.

F = التردد، هيرتز أو دورة في الثانية.

النظام البعدى لهذه المعادلة يمكن استنتاجها كالاتى :

$$\frac{\text{أمتار}}{\text{ثانية}} \times \frac{\text{أمتار}}{\text{دورة}} = \frac{\text{أمتار}}{\text{صوت}}$$

حيث أن سرعة الصوت ثابتة، فإنه توجد علاقة عكسية بين التردد وطول الموجة. بمعنى آخر، كلما زاد التردد كلما قصر طول الموجة والعكس صحيح.
مثال :

موجات صوتية فى الهواء عند ٢١° م تسير بسرعة ٣٤٤ متر فى الثانية. كم من الوقت المستغرق لسماع الانفجار من مصدر الوهج الذى حدث على مسافة ٥ كيلو متر من الشخص الملاحظ.
الحل :

من الفيزياء، فإنه من المعلوم أن المسافة تساوى حاصل ضرب السرعة فى الزمن. بالتعبير عن ذلك جبريا بعد تحويل الكيلو مترات إلى أمتار.

$$٥٠٠٠ \text{ متر} = ٣٤٤ \text{ متر/ثانية} \times \text{الزمن}$$

$$\therefore \text{الزمن} = \frac{٥٠٠٠ \text{ متر}}{٣٤٤ \text{ متر فى الثانية}} = ١٥ \text{ ثانية تقريبا.}$$

مثال :

ما هو طول الموجة للصوت الذى يسير فى قضبان الصلب لقاطرة إذا كان تردد الصوت الذى يحدثه تحرك القاطرة هو ٥٠٠ هيرتز؟. (افترض أن الصوت يسير بسرعة ٥٠٠٠ متر فى الثانية فى الصلب).

الحل :

$$\lambda = v \div F \quad \text{باستخدام المعادلة}$$

$$\therefore \text{طول الموجة} = ٥٠٠٠ \div ٥٠٠ = ١٠ \text{ متر}$$

ارتفاع الصوت ودرجة أو طبقة الصوت : Loudness and Pitch

يوجد مصطلحان لوصف استقبال الإنسان للصوت وهما ارتفاع الصوت ودرجة الصوت. ارتفاع الصوت له علاقة باتساع أو نطاق الموجة (Amplitude) وكذلك بعوامل

أخرى، وسيتم مناقشة في البند التالي. الدرجة أو طبقة الصوت هو دلالة لتردد الموجة المنتجة للصوت. الصوت ذو الدرجة العالية (مثال، الصراخ أو الصياح من الحنجرة أو من صفارة) له تردد عالي نسبياً مقارنة بالصوت ذو الدرجة (الطبقة) المنخفضة (مثل : بوق الضباب Fog Horn)، والذي له تردد منخفض. (كذلك فإن الصوت ذو الدرجة أو الطبقة العالية يجب أن يكون له طول موجة أقصر عن الصوت بالطبقة المنخفضة).

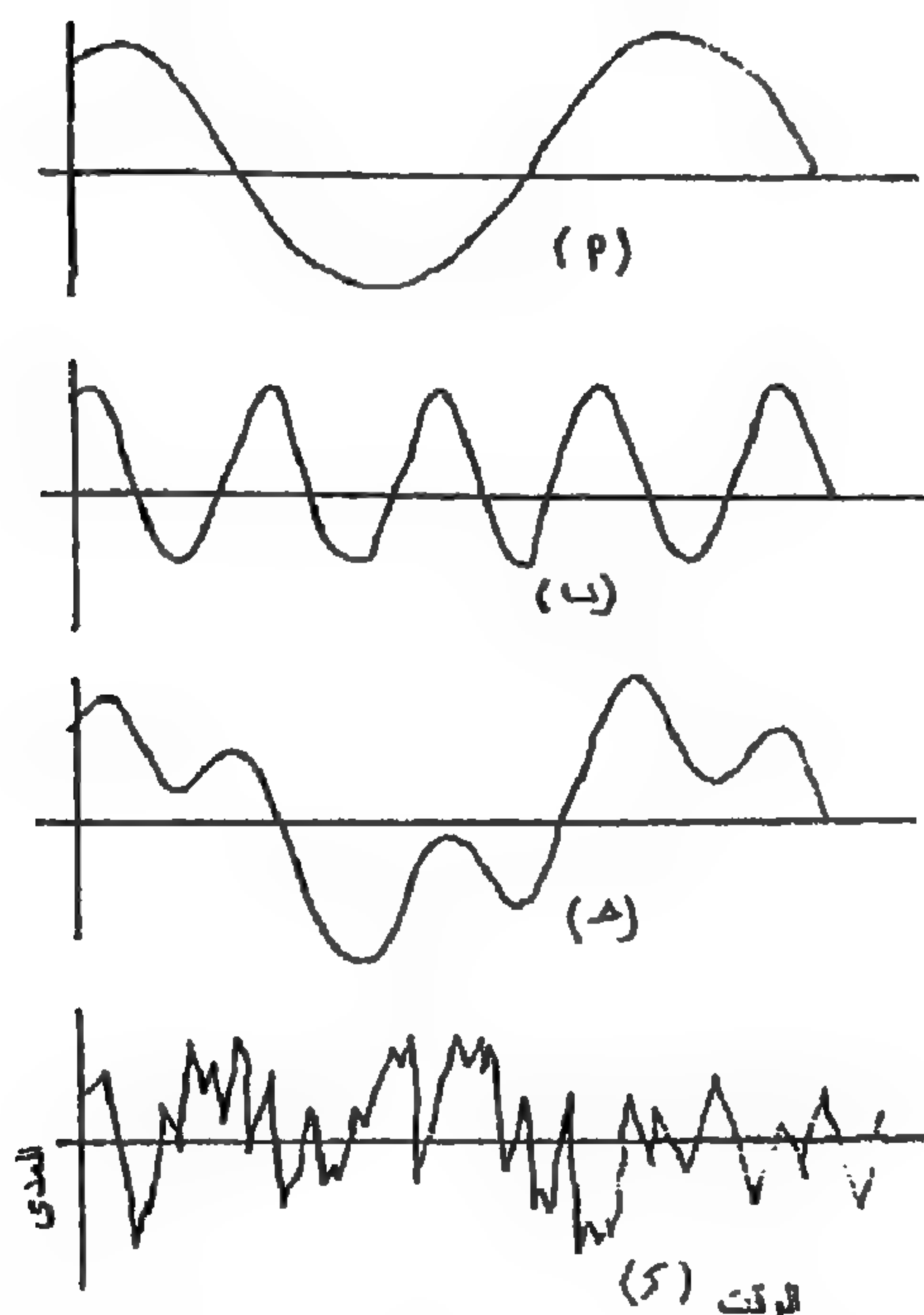
الموجات الصوتية تسبب اهتزاز لطبلة الأذن، وهذه تنشيط الأعضاء المتوسطة والداخلية للأذن ومرسلة إشارات بيوكهربية إلى المخ. الأذن البشرية يمكن أن تستشعر وتكتشف الأصوات في مجال تردد ما بين ٢٠ إلى ٢٠٠٠٠ هيرتز، ولكن بالنسبة للقدرة السمعية لمعظم الناس يكون الأفضل المجال من ٢٠٠ إلى ٢٠٠٠٠ هيرتز. الصوت بتردد ٥٠ هيرتز مثلاً، يستقبل ليكون ذو درجة منخفضة جداً، والصوت بتردد ١٥٠٠٠ هيرتز يكون ذو طبقة، أو درجة عالية جداً.

النوتة المتوسطة (C) على البيانو لها تردد ٢٦٢ هيرتز. في المحادثات العادية، يغطي الصوت الأدمى المجال من ٢٥٠ إلى ٢٠٠٠ هيرتز. القدرة على سماع الصوت تتوقف على كلا من تردد الموجة ونطاق الموجة (Amplitude) مع تقدم السن فإن القدرة على السمع تكون عادة أقل حدة. هذا الفقد الطبيعي في القدرة على السمع تسمى الضعف الشيخوخي للسمع (Presbycusis)، وليس له علاقة بالتعرض بالتلوث السمعي.

منحنيات جيب الزاوية أو الموجات الصوتية الموضحة في الشكل (٧/٢ أ) ، (٧/٢ ب) هي نبرات أو نغمات نقية (pure tones). الصوت وخاصة المزيج (Noise) يكون أكثر تعقيداً عن النبرة النقية، فهو يحتوى على مجموع العديد من موجات الضغط، كل لها تردد مختلف ونطاق مختلف. الموجة الصوتية المتكونة من مثل هذا المجموع لا تمثل الإطار البسيط لمنحنى جيب الزاوية. نبرتان أو نغمتان نقيتان مثل تلك الموضحتان في الشكل (٧/٢ أ) ، (٧/٢ ب) يمكن أن يتحدا ليكونا موجة مثل تلك الموضحة في الشكل (٧/٢ جـ). الإطار العشوائي لكثافة الضغط هو التقليدي لمعظم الأصوات أو الضجيج الغير مرغوب كما هو موضح في الشكل (٧/٢ د). ضغط الدالة الدورانية (Cyclic Function) مثل الموجة الصوتية، يتميز بالمصطلح الرياضى المسمى الجذر التربيعى لمتوسط القيم المربعة (Rms - Rootmean Square value) وهذه تساوى الجذر التربيعى لمتوسط القيم المربعة لترددات وتقلبات ضغط الصوت. في الدراسة التالية بخصوص قياس الضجيج (Noise)، الإشارة إلى ضغط الصوت تعنى قيمة الجذر التربيعى لمتوسط القيم المربعة (Rms).

٢- قياس الصوت العالي : (Measurement of Noise)

الموجات الصوتية تتصف بالتغيرات الدورانية لضغط الهواء فوق وأسفل متوسط الضغط الجوي. مقارنة بمتوسط الضغط الجوي والضغط البارومتري، فإن التغيرات في ضغط الصوت تكون صغيرة جداً. متوسط الضغط الجوي عند مستوى سطح البحر هو حوالي ١٠٠ كيلو بار (١٤,٧ رطل على البوصة المربعة)، يمكن كذلك التعبير عنه بواحد بار. ضغط الصوت صغيرة جداً حيث يكون من المناسب التعبير عنه بالميكروبار. الميكروبار هو واحد على مليون من متوسط الضغط الجوي عند مستوى سطح البحر. واحد ميكرو بار يكافئ حوالي 1×10^{-6} بار (٠,٠٠٠٠١٤٧ رطل/ البوصة المربعة).



شكل (٧/٢) النغمات النقية (أ) ، (ب) يمكن أن تتحد لتكون شكل للموجة مثل

(جـ) ويمكن تصور الصوت العشوائي في (د)

أذن الإنسان هي عضو له حساسية ملحوظة. الشخص متوسط القدرة السمعية يمكنه اكتشاف الصوت ذو نطاق صغير جداً مثل ٠,٠٠٠٢ ميكروبار. هذه القيمة هي بالمصطلح تؤخذ لتكون أدنى صوت مسموع للإنسان وتستخدم كقاعدة لمستوى القياس في معظم قياسات الأصوات. حد السمع هذا يمكن كذلك أن يعبر عنه بالمصطلحات

ميكروباسكال (Micropascals (MPa) حيث $0.0002 \text{ Mbar} = 20 \text{ Mpa}$) أعلى ضغط صوتي يمكن استقباله بواسطة أذن الإنسان بدون حدوث ألم هو حوالي 1000 ميكروبار. مجال الضغط، من 0.0002 ميكروبار حتى 1000 ميكروبار، يغطي طيف متسع جداً، فهو يعادل لمجال 5 مليون إلى واحد (حيث أن $0.0002 \div 1000 = 0.0000002$). الأذن البشرية يمكن أن تستقبل ضغوط الصوت المرتفعة حتى 10,000 ميكروبار (أو واحد كيلو بار) وذلك قبل حدوث تلف فوري طبيعي لطبلة الأذن أو الأذن الوسطى.

مقياس التفاوت بين شدتي صوتين : (The Decibel Scale)

قياس مستويات الصوت بوحدات الضغط التي يمكن أن تتغير خلال مجال متسع من القيم هو قياس غير عملي وغير مناسب.

السلبية الأخرى لقياس الصوت بوحدات الميكروبار أو الميكروباسكال هي حقيقة أن استجابة الأذن ليست على استقامة واحدة بالنسبة للضغط. هذا يعني أن استقبال الإنسان للأصوات المزعجة أو الصخب (Loudness) هو ليس ببساطة دلالة مباشرة لضغط الصوت. فمثلاً، مضاعفة مستويات ضغط الصوت ليست بالضرورة تسمع أو تستقبل مثل مضاعفة الصوت المرتفع والصخب. عوامل أخرى مثل التردد تساهم في الظاهرة، كما سنتناقش باختصار.

لتجنب سلبيات الاستخدام المباشر للضغط لقياس النغم أو الصخب (Sound or Voice)، فإنه تستخدم علاقة لوغاريتمية تسمى مقياس التفاوت بين شدتي صوتين. وحدات القياس تسمى ديسيبل (Decibels) ولا تمثل نوعيات طبيعية حقيقية، مثل الضغط. الديسيبل هو أساساً نسبة لضغطين، تستخدم اللوغاريتمات لتحويل مجال هذه النسبة إلى أعداد مناسبة ومحكمة. قيمة الحجم أو الصوت المقدرة بالديسيبل تسمى مستوى ضغط الصوت (Sound Pressure Level) (SPL). مستوى ضغط الصوت يعبر عنه رياضياً بالآتي :

$$\text{مستوى ضغط الصوت (SPL)} = 20 \times \log \frac{P}{P_0}$$

حيث P = قيمة الجذر التربيعي لمتوسط مربع تغيرات ضغط الصوت أو (rms) ضغط الصوت، ميكروبار

P_0 = الضغط القياسي ميكروبار (μbar)

الضغط القياسي المستخدم عادة لـ P_0 هو بداية السمع (Hearing Threshold) أو أدنى ضغط للصوت المسموع لـ 0.0002 ميكروبار. أساس اللوغاريتم لدالة اللوغاريتم هو 10 ، للتذكيرة أن اللوغاريتمات هي أساساً لأس أو القوة لـ 10 . فمثلاً، لو $100 = 10^2$ ، لو $1000 = 10^3$ وهكذا. كذلك حيث أن 10^0 تعرف رياضياً بأنها تعادل واحد، لو $(1) = 10^0$ = صفر.

بناء على التعريف السابق لمستوى ضغط الصوت فإن مستوى ضغط الصوت (SPL) ذو قيمة ديسيبل = صفر dB = صفر لا يمثل الغياب الكامل للصوت. فهو يمثل بداية السمع أو أدنى صوت مسموع لمعظم الناس. يمكن رؤية هذا بتطبيق المعادلة (مستوى

$$\text{ضغط الصوت} = 20 \times \log \left(\frac{P}{P_0} \right) \text{ باستخدام } 0.0002 \text{ ميكروبار لكل من } P, P_0 :$$

$$\begin{aligned} \text{مستوى ضغط الصوت} &= 20 \times \log \left(\frac{0.0002}{0.0002} \right) = 20 \times \log (1) \\ &= 20 \times \text{صفر} = \text{صفر} \end{aligned}$$

في الواقع، بعض الناس ذات قوة حادة خاصة في السمع يمكنها أن تكتشف الأصوات ذات قيمة ضغط الصوت بالديسيبل ذو قيمة سالبة.
مثال :

سارينة عربية إسعاف سببت ضغط صوت 200 ميكروبار. ما هو مستوى ضغط الصوت للسارينة؟
الحل :

$$\begin{aligned} &\text{باستخدام المعادلة لضغط الصوت فإنه يساوي} \\ &= 20 \times \log \left(\frac{0.0002}{200} \right) = 20 \times \log (0.001) \\ &= 20 \times 6 = 120 \text{ ديسيبل.} \end{aligned}$$

بداية الألم للإنسان، حوالي 100 ميكروبار، يعادل حوالي 134 ديسيبل (راجع الحساب باستخدام معادلة حساب ضغط الصوت) يمكن ملاحظة أن مقياس الديسيبل يساعد في خفض قياسات انتشار أو مجال الصوت إلى مجال مقبول نسبياً لـ صفر ديسيبل إلى حوالي 140 ديسيبل. لوضع مقياس الديسيبل في منظور بالنسبة لإدراك الناس لارتفاع

الأصوات العادية ومستويات الضجيج، فإن بيان لقيم ديسيبييل النموذجية موضح في الشكل (٧/٣)

شكل (٧/٣) يستخدم تدرج ديسيبييل لقياس مستويات الصوت

مستوى الصوت بالديسيبييل	الحالات البيئية
-	
-١٤٠	
-١٣٠	بداية الألم
-١٢٠	ثرثرة هوائية
-١١٠	البوق العالي للسيارة (مسافة ١ متر)
-١٠٠	طائرة نفاثة فوق الرأس
-٩٠	داخل قطار نفقى
-٨٠	داخل الأوتوبيس
-٧٠	متوسط الحركة المرورية على جانب الشارع
-٦٠	كلام المحادثة والتخاطب
-٥٠	نموذج لمكتب عمل
-٤٠	غرفة معيشة.
-٣٠	المكتبة
-٢٠	غرفة النوم ليلاً
-١٠	أستديو الإذاعة
صفر -	بداية السمع

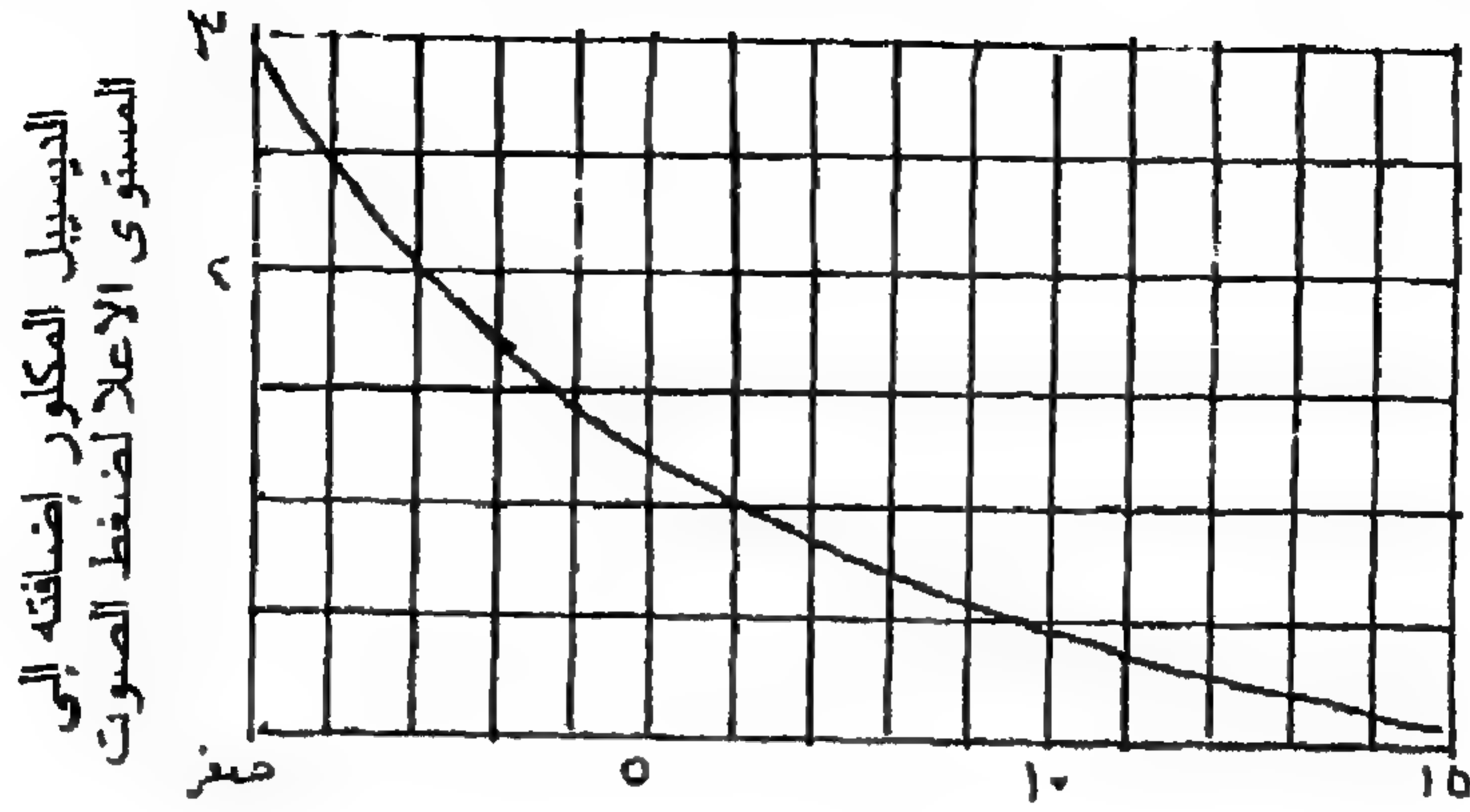
الأصوات المشتركة : Combined Noises

فى كثير من الحالات، يكون من الضرورى التنبؤ ماذا سيكون مستوى الأصوات المشتركة عندما يعمل مصدرين صوت أو أكثر متقاربين فى نفس الوقت. فمثلاً، قد يكون مطلوب تقدير مستوى الصوت المتوقع عند حدود موقع الإنشاء بسبب العمل المشترك

لمعدات الإنشاء من الأوناش والبلدوزرات، اللوادر.. الخ. أولاً، من المهم التأكد من أنه ليس صحيحاً جمع الديسيبيل (Decibels) لكل صوت من مصدر مستقل باستخدام الرياضيات. ذلك لأنه بسبب الطبيعة اللوغاريتمية لمقياس الديسيبيل للأغراض العملية، يكون من المناسب معرفة أن اشتراك صوتين بقيمة مستوى ضغط الصوت متساوي لكل منهما ينتج دائماً في زيادة ٣ ديسيبييل فقط فوق مستوى ضغط الصوت لمصدر صوت واحد فقط. فمثلاً، إذا كان معدة إنشاءات حفر لها مستوى ضغط الصوت ٩٠ ديسيبييل وأن معدتين حفر متشابهتين يعملان في وقت واحد واحدة مع الأخرى، فإن الصوت الناتج أو مستوى ضغط الصوت من كليهما سيكون ٩٣ ديسيبييل (وليس ١٨٠ ديسيبييل). وبالمثل، إذا كان صوت سريانة الإسعاف بسبب صوت بقيمة ١٢٠ ديسيبييل عندئذ فإن سرينتين متشابهتين سوف تنتجا ١٢٣ ديسيبييل، مجموع الديسيبييل سيكون فقط ٣ أعلى من الديسيبييل لمصدر واحد.

على الجانب الآخر، عند اشتراك صوتان مختلفان بأكثر من ١٥ ديسيبييل في مستوى ضغط الصوت، فإن مساهمة الصوت الأضعف لا يتم ملاحظتها حتى للأذن ذات الحساسية العالية أو أجهزة القياس. فمثلاً، إذا كان حفر الصخر يعمل في توقيت واحد بديسيبييل ٩٥ ومع لودر بديسيبييل ٨٠ في موقع الإنشاء، فإن مستوى ضغط الصوت المشترك سيتم استقباله بقياسه ليكون ٩٥ ديسيبييل. الصوت الأصغر يتم حجزه وحجبه بالصوت الأعلى. هذه الظاهرة تسمى إخفاء صوت بواسطة الصوت الآخر. معظم الناس لاحظوا هذا في وقت ما. فمثلاً، الأصوات الصناعية في أحد المصانع ذات مستوى ٨٠ ديسيبييل يمكنها إخفاء معظم الأصوات البشرية، حيث تكون المحادثة صعبة، إن لم تكن مستحيلة تحت هذه الظروف.

أحياناً قيم الديسيبييل لمصادر الصوت التي تختلف ما بين صفر إلى ١٥ يجب جمعها. لتجنب الرياضيات المعقدة، يكون من المناسب استخدام مخطط مثل الموضح في الشكل (٧/٤). يتم الدخول للمخطط أولاً بالفرق العددي بين مستوى الصوتين المطلوب إضافته. مع التحرك إلى أعلى المنحنى ثم متقاطعاً نحو المحور الأيسر، فإنه يتم قراءة الرقم المقابل للديسيبيلات المطلوب إضافتها إلى قيمة المستوى الأعلى لضغط الصوت، حيث تتم القراءة من المخطط.



مستوى ضغط الصوت بين صوتين مجموعتين، ديسيبل

شكل (٧/٤) مخطط مثل هذا يجب أن يستخدم لتبسيط إضافة قيم الديسيبل عند جمع اثنين أو أكثر من مستويات الصوت. يتم الدخول إلى المخطط على المحور الأفقي. حيث الفرق العددي بين مستويات للصوت اللازم إضافته، والرقم المقابل للديسيبل اللازم إضافته لأكبر مستويين الصوت، يقرأ على المحور الرأسى

مثال :

توجد أربع معدات حفر متشابهة يعملان فى موقع إنشاء. كل معدة حفر لها مستوى ضغط صوت ٩٠ ديسيبل عندما تعمل منفردة. ماهو مستوى ضغط الصوت عندما تعمل المعدات الأربع فى نفس الوقت؟ (للتبسيط، تأثير المسافة من مصدر الصوت تم إهماله فى مناقشة مستوى ضغط الصوت. بالنسبة لهذا المثال، يفترض أن تلك المعدات تعمل معاً فى مساحة محصورة).

الحل :

أولاً، يتم تقدير ماذا سيحدث عند عمل معدتين فقط. الفرق العددي بين قيم مستوى ضغط الصوت هو $90 - 90 = 0$ صفر. عند الدخول إلى المنحنى فى الشكل (٧/٤) مع فرق يساوى صفر اقرأ القيمة المقابلة لـ ٣ ديسيبل على المحور الرأسى. لذلك المعدتين يعملان فى نفس التوقيت سينتجان مستوى ضغط الصوت $93 = 90 + 3$ ديسيبل. وهذا متوقع من قانون المناقشة السابق بالنسبة لمجموع قيم مستوى ضغط الصوت المتشابه.

عند عمل معدة الحفر الثالثة، يضاف ٩٠ ديسيبل إضافية للمستوى السابق ٩٣ ديسيبل للمعدتين. الفرق بين قيم مستوى ضغط الصوت هو الآن $93 - 90 = 3$ ديسيبل. بالدخول إلى المخطط مع فرق ٣ ديسيبل، أوجد أنه من الضرورة إضافة

١,٧ ديسيبييل إضافية إلى ٩٣ ديسيبييل للحصول على مستوى ضغط الصوت المشترك. لذلك $٩٣ + ١,٧ = ٩٤,٧$ ديسيبييل من الثلاث معدات يعملون معا في نفس الوقت. تذكر أن زيادة مستوى ضغط الصوت دائما تضاف إلى القيمة الأكبر من بين قيمتي مستوى ضغط الصوت المشتركين.

أخيرا، مع المعدة الرابعة، باشتراك ٩٤,٧ ديسيبييل مع ٩٠ ديسيبييل. الفرق هو ٤,٧ ديسيبييل والزيادة المطلوبة من المخطط هي ١,٣ ديسيبييل. وهذا ينتج عنه $٩٤,٧ + ١,٣ = ٩٦$ ديسيبييل تم إنتاجها بواسطة المعدات الأربع. يمكن مراجعة ذلك باعتبار أن اشتراك زوجين من المعدات عند ٩٣ ديسيبييل ينتج كذلك $٩٣ + ٣ = ٩٦$ ديسيبييل.

كثافة أو حدة أو قوة الصوت : Sound Intensity

لقد لوحظ أن كل الأصوات تنتج بواسطة الاهتزازات الميكانيكية لبعض الأوساط الطبيعية وأن الموجات الصوتية ترسل طاقة. المعدل الذي تنتقل به هذه الطاقة خلال وحدة المساحة العمودية على اتجاه موجة الصوت تسمى حدة الصوت وتقيم بوحدات الوات على المتر المربع (W/m^2). كثافة أو حدة الصوت تتناسب مع قيمة مربع rms (قيمة الجذر التربيعي لمتوسط مربع تغيرات ضغط الصوت) لضغط الصوت أو مستوى ضغط الصوت (SPL).

بالنسبة لكل زيادة ١٠ ديسيبييل في مستوى ضغط الصوت، فإنه توجد زيادة ١٠ أضعاف في حدة الصوت. فمثلا، مستوى ضغط الصوت ١٠ ديسيبييل أكثر حدة عشرة أضعاف عن مستوى ضغط الصوت لواحد ديسيبييل، ٢٠ ديسيبييل يكون أكثر قوة وكثافة ١٠٠ ضعف، ٣٠ ديسيبييل ١٠٠٠ ضعف وهكذا. كذلك لكل مضاعفة لقوة الصوت (مثلا، مضاعفة عدد مصادر الموجات الصوتية المتساوية)، فإن مستوى ضغط الصوت (SPL) يزداد بثلاث ديسيبييل (كما هو موضح في المثال السابق).

في حالة التردد الوحيد أو النبرة النقية (Pure Tone)، يوجد تطابق وتوافق مباشر بين الارتفاع أو الصخب (Loudness) والحدة أو القوة. ولكن معظم الأصوات تحتوي على العديد من الترددات ويتأثر التطابق بتأثيرات التداخل لموجات الصوت. معظم الناس زيادة من ٦ إلى ١٠ ديسيبييل في مستوى ضغط الصوت ليكون مكافئا لمضاعفة ارتفاع الصوت. من المهم معرفة أن هناك فرق بين الوصف العلمي وقياسات الصوت وبدائل التعرض عنها بواسطة أي فرد من الناس.

قياسات مستوى الصوت :

الأذن البشرية تستجيب للأصوات بطريقة معقدة. لا توجد علاقة بسيطة بين القياس الطبيعي لمستويات ضغط الصوت والإدراك الحسي للأفراد بالنسبة لارتفاعات الأصوات. إلى حد معين إدراك الارتفاع النسبي للصوت هو ذاتي (Subjective) ويتوقف على رأى الأفراد. ولكن صفة واحدة من خواص الصوت (بخلاف اتساع نطاق الموجة Amplitude) تعرف بأن لها تأثير مباشر على إدراك الأصوات وهي تعيين درجة النغم أو طبقة الصوت (Pitch)، أو تردد الموجة الصوتية.

لقد أظهرت التجارب أن الشخص المتوسط بالقدرة السمعية العادية سوف يدرك صوتاً بتردد عالي ليكون أعلى من الصوت بتردد منخفض، حتى في حالة أن كلا الصوتين لهما نفس القوة (Intensity) أو مستوى ضغط الصوت. فمثلاً، صوت بمستوى ضغط الصوت ٧٠ ديسيبل عند تردد ١٠٠٠ هيرتز عادة يتم إدراكه ليكون أعلى من صوت ذو تردد موجة أقل (Low Pitched)، حتى في حالة كلا الصوتين لهما نفس القوة أو مستوى ضغط الصوت (Intensity or SPL). فمثلاً، صوت بمستوى ضغط الصوت ٧٠ ديسيبل عند تردد ١٠٠٠ هيرتز عادة يتم إدراكه ليكون أعلى من ٧٠ ديسيبل بتردد ١٠٠ هيرتز. في الواقع، الصوت بتردد ١٠٠ هيرتز يجب أن يكون له مستوى ضغط الصوت (SPL) حوالى ٧٦ dB ديسيبل له يمكن الحكم عليه أنه مترفع مثل صوت ١٠٠٠ هيرتز بمستوى ضغط الصوت (SPL) ٧٠ (dB) ديسيبل. مستوى الضغط الأعلى (أي طاقة أكثر) مطلوب عند التردد المنخفض للشخص المتوسط لإدراك نفس ارتفاع الصوت لأن الأذن البشرية غير ذات كفاءة إلى حد ما في كشف الأصوات ذات التردد المنخفض (Low Pitched Sounds).

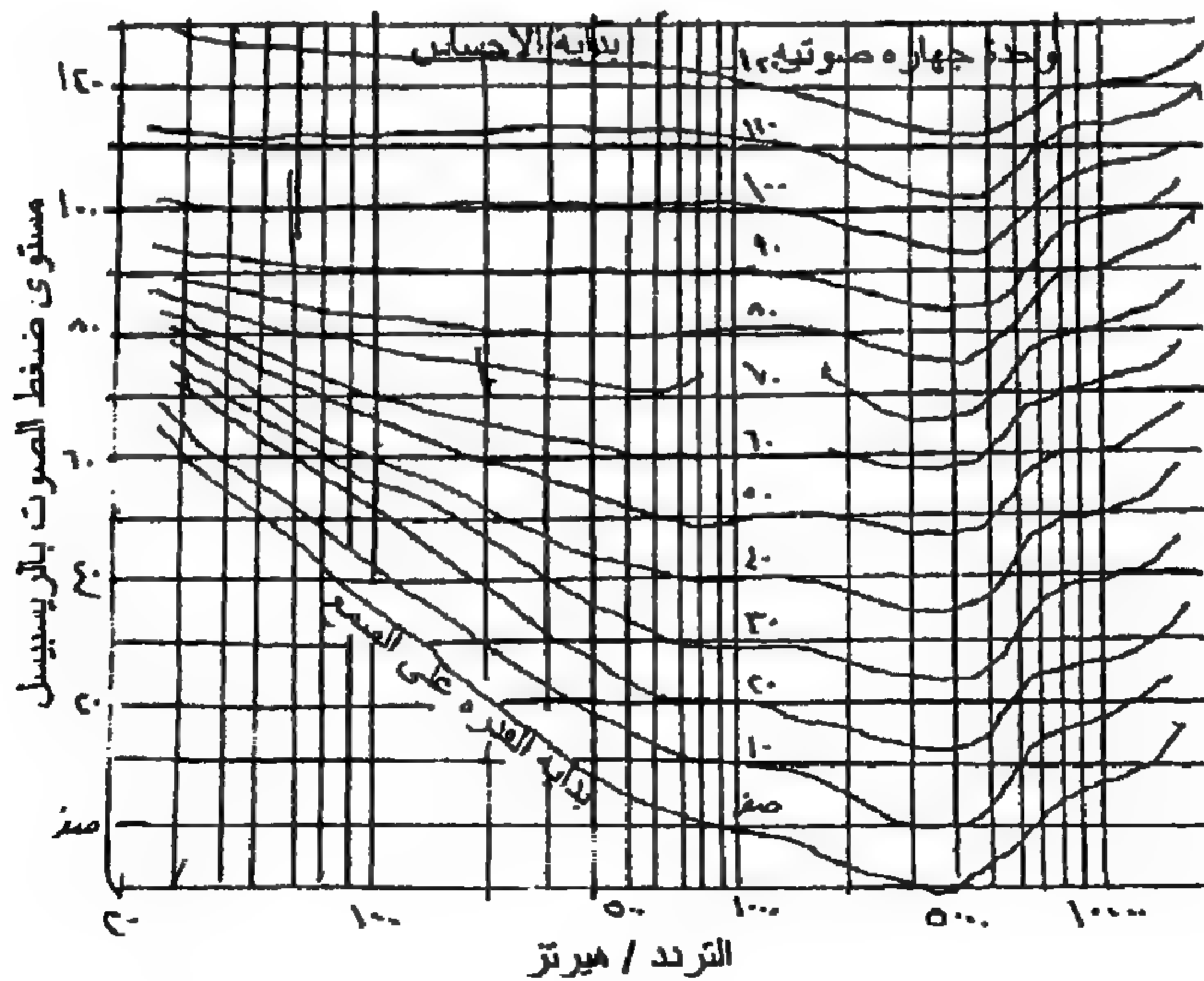
نظراً لأن الأصوات ذات نفس قدرة مستوى ضغط الصوت ولكن بترددات متغيرة لا يتم إدراكها فإنها ذات ارتفاع صوتي أو حجم صوتي متساوي، فإنه تلزم طريقة التي تسمح بقياسات مستوى الصوت أو الضجيج بطريقة ذات معنى وثابتة. أحد الطرق لتنفيذ ذلك هي باستخدام مخطط يوضح الكنتورات ذات ارتفاعات الأصوات المتساوية، كما هو موضح في الشكل (٧/٥). منحنيات الكنتور تمثل مستويات الصوت أو ارتفاعه وتسمى فون (Phons) أو وحدة الجهارة الصوتية. عند تردد ١٠٠٠ هيرتز فإن طبقة الصوت القياسية (Pitch) مستويات ضغط الصوت تكون نفسها مثل مستويات الصوت، كلاهما يعبر عنه بالوحدات ديسيبل (Decibels).

مثلاً، مستمع بالسمع العادى حيث يسمع نبرة صوت (Tone) ذات ١٠٠ هيرتز وذات مستوى ضغط الصوت ٧٠ ديسيبل. ما هو ارتفاع الصوت الذى يدركه المستمع.

الحل:

ادخل إلى المخطط عند المحور السفلى ١٠٠ هيرتز وتتبع الخط الراسى إلى أعلى حتى النقطة بقيمة ٧٠ ديسيبل لمستوى ضغط الصوت، أقرب منحنى كنتورى مرقم ٦٠. بمعنى آخر فإن الصوت سيتم تقديره ليكون له ارتفاع ٦٠ درجة النغم أو طبقة الصوت (Phones). باستخدام نفس الكنتور يمكن ملاحظة أن الشخص الذى يسمع مستوى ضغط الصوت ٦٥ ديسيبل عند ٢٠٠ هيرتز سوف يدرك نفس الارتفاع، لطبقة الصوت (٦٠).

تستخدم طرق أخرى كثيرة لقياس الارتفاع الظاهر للصوت. مثلاً، وحدة أخرى لارتفاع الصوت المستخدم هي الصون (Sone) أو وحدة جهازة الصوت. فإن ارتفاع الصوت إلى ٤٠ طبقة صوت (Phones) يقابل واحد صون (وحدة جهازة صوت)، كل مضاعفة للصوت تزيد طبقات الصوت (Phones) بعشرة. فمثلاً، صوت ذو ٢ صون يكافئ ٥٠ فون (طبقة صوت)، ٤ صون يكافئ ٦٠ فون، وهكذا. وحدات أخرى تستخدم كذلك، ولكن النقطة الهامة التى يجب ملاحظتها هي التعقيدات المصاحبة لقياس كلا من مستويات الصوت وتأثيراتها.

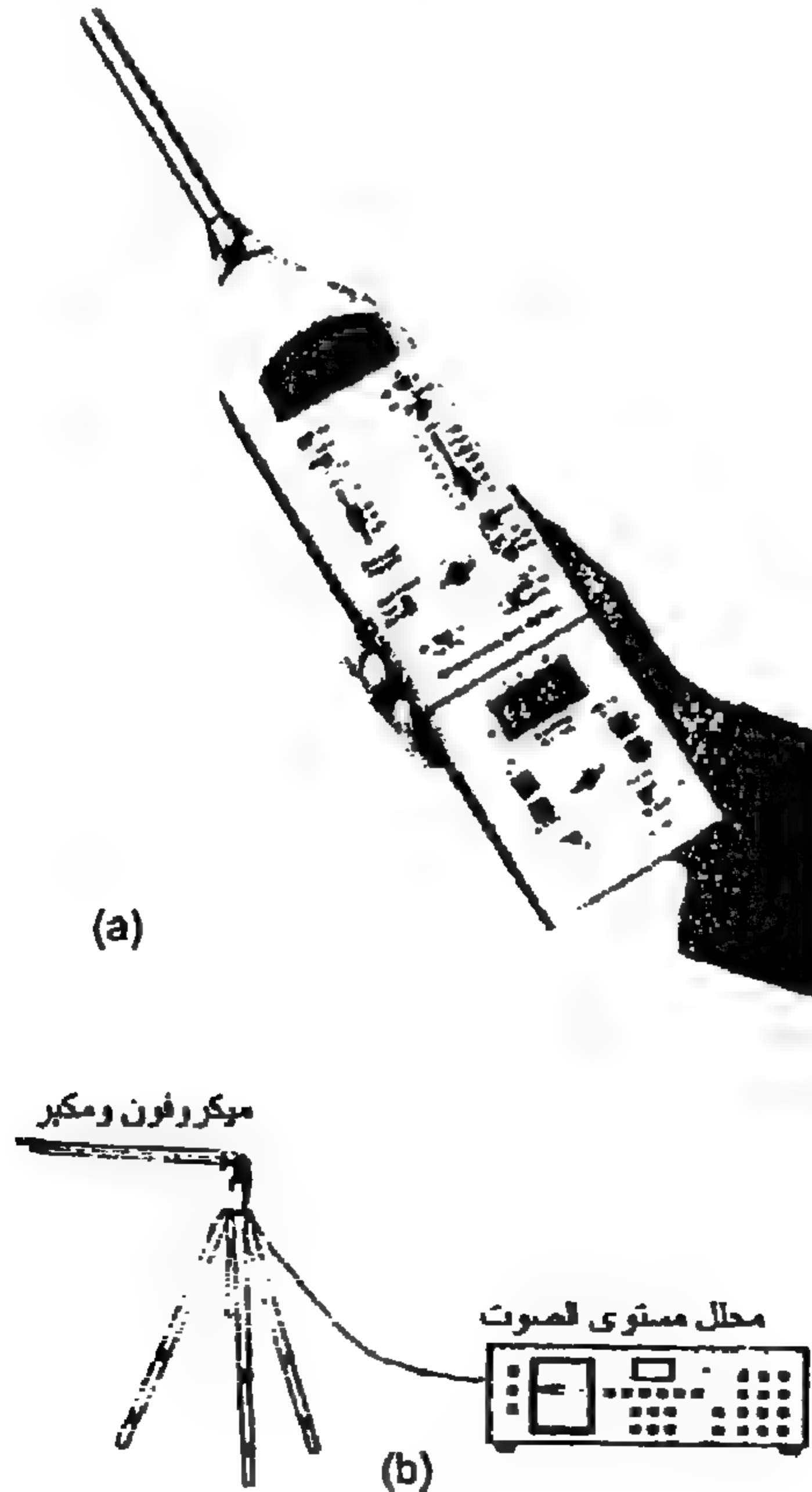


شكل (٧/٥) كنتورات وحدات جهازة الصوت المتساوية (Phones)

قياسات مستوى الصوت : (Sound - Level Meters)

كثيراً من الأجهزة الإلكترونية متاحة لقياس الصوت. المكونات الرئيسية لمقياس الصوت المثالي تشمل الميكروفون، المكبر، مرشح التردد، وتجهيز القراءة. القياسات أو القراءات تسمى مستويات الصوت ويدخل في اعتبارها تغير إدراك الصوت أو ارتفاع الصوت مع التردد. بعض أبحاث الصوت يمكن عملها بمقياس مستوى الصوت اليدوي، والذي يعمل بالبطارية. كما هو في الشكل (٧/٦).

في الشكل (٧/٦) إذا كانت قياسات الصوت يلزم عملها في مكان واحد خلال فترة زمنية طويلة، مثل حالة أصوات الحركة المرورية، فإن أجهزة القياس يمكن تركيبها على حامل ثلاثي القوائم مع إضافة تجهيز وتسجيل ومحلل للتردد. قياسات الصوت عادة تغطي المجال من ٢٠ إلى ١٨٠ ديسيبل. اختيار أجهزة قياس الصوت يتوقف على نوع الصوت، الظروف البيئية، والغرض الرئيسي من القياسات.



شكل (٧/٦) (أ) مقياس الصوت اليدوي (ب) تجهيز لقياس صوت لحركة مرورية

شبكات تعديل قراءات التردد : (Frequency - Weighting Networks)

عند قياس المستويات الكلية للصوت لأي مصدر، يكون من الضرورة تكسير الصوت إلى مجالات مختلفة من الترددات، أو إلى حزم من الذبذبات أو الأطوال (مثال، حزم تردد منخفض، تردد متوسط، تردد عالي). أحد الأسباب لهذا هو حقيقة أن الحول الهندسية لكثير من المشاكل الصوتية تختلف باختلاف مجالات التردد، الأصوات ذات التردد المنخفض عادة يكون من الصعب التحكم فيها. بسبب آخر هو أن الأذن البشرية تختلف في الاستجابة لمختلف الترددات. فهي ليست شديدة الحساسية للصوت بالتردد المنخفض، لذلك فإن الأصوات ذات التردد المتوسط والعالي تدرك كما لو كانت زائدة في المضايقة. وكذلك الأصوات ذات التردد العالي أكثر قدرة على إحداث فقد في السمع.

أجهزة قياس مستوى الصوت عادة تكون مزودة بمرشحات التردد أو شبكات التعديل. المرشح (A) هو المستخدم عادة. قياسات الصوت التي تعمل بهذا المرشح تعرف بأنها ذات ثقل تعديل ديسيبل (A) (A- Weighed - decibels or dBA). شبكة ثقل التعديل (A) هذه ترشح الأصوات ذات التردد المنخفض وذات التردد العالي جداً، حيث تكون الأذن البشرية أقل كفاءة. وهذا يساعد على تطابق قراءات العداد مع حساسية الأذن وطبقاً لتقدير الشخص المتوسط الارتفاع النسبي لمختلف الأصوات. مستويين لصوتين ذات مستوى ديسيبل واحد ولكن لترددات مختلفة لها مستويات (dBA) مختلفة، الصوت ذو التردد الأقل له مستوى أقل لـ (dBA).

كذلك يمكن استخدام مرشحات تردد أخرى أو شبكات ثقل التعديل للدراسات الحقلية المتخصصة لمستوى الصوت. مثلاً، المرشح بالثقل C يمكن أن يكون مفضلاً لتحليل مصادر الصوت ذات المكونات الكثيرة منخفضة التردد مثل صوت الانفجار أو نيران المدفعية. مرشح ثقل التعديل (A) يعامل كأفضل قياس للصوت البيئي أو صوت المجتمع، فهو عادة مطلوب بواسطة وكالة حماية البيئة (EPA) وكثير من الجهات ذات الاهتمام بالبيئة.

المستويات التراكمية للصوت : (Cumulative Noise Levels)

مستويات الصوت غالباً ما تتغير دائماً مع الوقت، ونتائج القياس الكلية يجب أن تقرر في مصطلحات إحصائية. تستخدم عدة طرق ومعايير لتمثل توقيت متوسط القيم للفرد أو حوادث الصوت القصيرة، وكذلك التعرض الكلي للصوت من حالات صوتية كثيرة. أحد التقنيات هو تعيين نسبة الوقت الذي يزيد فيه مستوى الصوت. فمثلاً، بعد عدة قياسات

لمستوى الصوت يمكن تقريب أن $L_{90} = 75 \text{ dBA}$ ، وهذا يعنى أنه أثناء الفترة الزمنية التي أخذت فيها القراءات، فإن مستويات الصوت كانت تساوى أو أعلى من 75dBA ٩٠% من الوقت. بعض معايير الصوت الأخرى التي سيتم مناقشتها تشمل

مستوى تعرض الصوت (Sound Exposure Level)

مستوى الصوت المكافئ (Equivalent Sound Level)

مستوى الصوت نهاراً - ليلاً (Day - Night Sound Level)

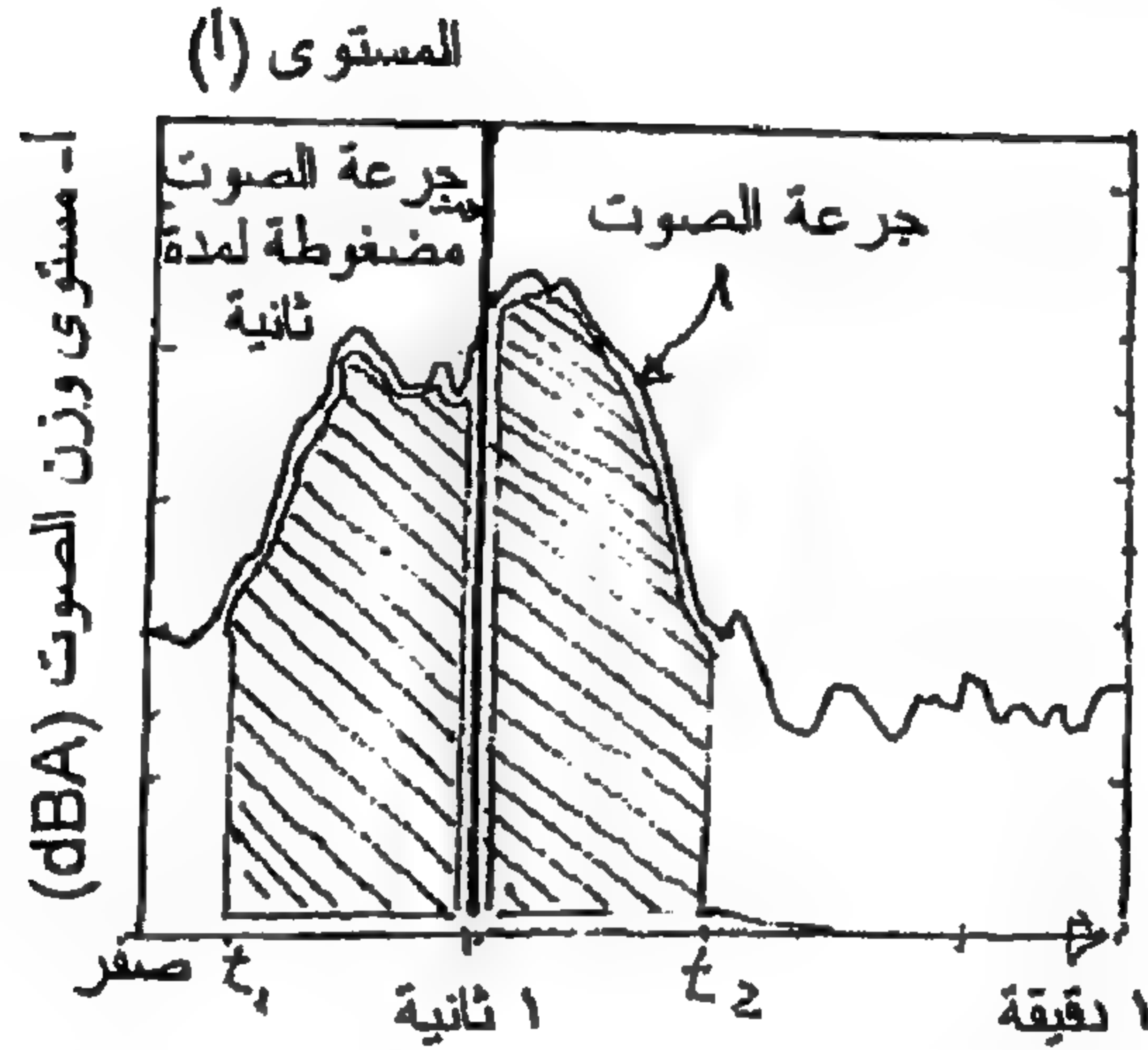
١- مستوى تعرض الصوت :

كثير من مشاكل التلوث الصوتي تشمل سلسلة من حالات الصوت المتقطعة والتي تحدث خلال فترة زمنية، كل حادثة صوتية قد تستمر لفترة زمنية قصيرة، من الثواني القليلة إلى الدقائق القليلة. فمثلاً، الصوت من طائرة تطير فوق تجمع سكني دقيقة واحدة تقريباً، بالإضافة فإن كثيراً من الطائرات قد تطير فوق المدينة خلال اليوم. الخطوة الأولى في تحليل تأثيرات التلوث الصوتي للمجتمع من هذه المصادر هي بحساب مستوى التعرض للصوت لكل حادثة صوت (أو الطيران العلوي في هذه الحالة). قيم مستوى التعرض للصوت توفر الأساس لحساب حوادث الصوت ذات استمرارية متغيرة بطريقة التي تمكن من مطابقة متوسط تأثير الشخص للصوت.

مستوى تعرض الصوت يعبر عن مكافئ تراكم الطاقة الصوتية خلال فترة الحادثة الصوتية، هذه الفترة تعرف أنها تمتد من وقت عندما تحدث الزيادة الأولى لمستوى تعرض الصوت عن مستوى الصوت العادي حتى الوقت الذي يعود فيه مستوى ضغط الصوت ثانياً لذلك المستوى. وهذا موضح في الشكل (٧/٧)، الذي يبين تغير مستوى ضغط الصوت خلال دقيقة واحدة. المساحة المباشرة تغطي الفترة الزمنية لحادثة الصوت، حيث قيم مستوى ضغط الصوت (في هذه الحالة) 60dBA.

في الشكل (١٣/٧) يلاحظ أن أقصى مستوى ضغط الصوت هو عند 85dBA (= 85) L_{max} ، ولكن قيم L_{max} لا تمثل بدقة إدراك الشخص المتوسط للصوت، بسبب اختلاف الفترات الزمنية التي تحدث خلال مختلف حوادث الصوت. لحساب هذا، فإن قيم مستويات تعرض الصوت تم توحيدها لتكون لمدة ثانية واحدة. بمعنى آخر إجمالي الطاقة الصوتية الممثلة بالمساحة ذات التهشير الخفيف تم ضغطها إلى الكمية المكافئة للطاقة لمدة زمنية قدرها ثانية واحدة فقط. حيث أن مستوى تعرض الصوت أصبح يعاير بالنسبة لثانية واحدة، فإنه غالباً يكون دائماً أكبر في القيمة عن (L_{max}) لحادثة الصوت الخفيفة. في هذا

التصور قيمة مستوى تعرض الصوت هي حوالي (95 dBA). أولاً، قد يبدو غريباً لوصف قيمة الحادثة الصوتية باستخدام مستوى ديسيبل الذي يزيد حقيقة عن أقصى مستوى مقاس. لاحظ رغم ذلك، أن قيم مستوى تعرض الصوت مخصصة للاستخدام في الدراسات المساحية للصوت، حيث يكون من الضروري مقارنة كثيراً من حوادث الصوت ذات استمرارية متغيرة بالطريقة التي تطابق الإدراكات الأدمية. مهما كانت استمرارية الحادثة الصوتية، كلما ارتفع مستوى التعرض الصوتي، كلما زاد احتمال إحداث الضرر أو المضايقة من هذا الصوت.



شكل (٧/٧) مستويات تعرض الصوت المستخدمة لحساب الفترة

الزمنية لحدوث الصوت

مستوى الصوت المكافئ :

مستوى تعرض الصوت يقيس الصوت المصاحب لحوادث فردية مثل طيران فوقى لطائرة واحدة. من المهم القدرة على الوصف للتأثيرات التراكمية لسلسلة من حوادث صوت مماثلة كثيرة. أحد الطرق المستخدمة لعمل هذا هو بتعيين مستوى الصوت المكافئ أو L_{eq} (L_{eq}). يمكن أن تفهم بأنها كمتوسط أو ثابت مستوى ضغط الصوت خلال الفترة الزمنية المعنية. فهو يحتوى على كثير من طاقة الصوت مثل كل حالات الصوت المصاحبة أثناء هذا الإطار الوقتي. الفترة الزمنية المعنية يمكن أن تكون ساعة واحدة، يوم عمل لمدة ٨ ساعات، يوم كامل لمدة ٢٤ ساعة. من المهم تشخيص الفترة الزمنية المستخدمة لأي دراسة مساحية صوتية، فمثلاً، يوم عمل ٨ ساعات (l_{eq}) يتم تشخيصه ليكون $[L_{eq}(8)]$.

متوسط مستوى الصوت الذي يتم بواسطة (E_{eq}) ليس قيمة حسابية، ولكن قيمة لوغاريتمية أو قيمة متوسط الطاقة. لهذا، القيم العالية لمستوى ضغط الصوت تستقبل تأكيد أكبر عن القيم المنخفضة. فمثلاً، إذا كان مستوى ضغط الصوت ثابت عن (50dBA) لمدة ٣٠ دقيقة ثم يكون ثابتاً عند (100 dBA) لمدة ٣٠ دقيقة التالية، فإن L_{eq} لستين دقيقة سيكون (97dBA)، وليس (75dBA) (كما يتوقع عند استخدام المتوسط الحسابي). الحالات العالية هي التي تسود في بيئة الصوت الموصف بـ (L_{eq}).

مستوى الصوت نهاراً - وليلاً : (DNL)

مستوى الصوت نهاراً وليلاً هو (24) L_{eq} مع 10-dBA غرامة مضافة لمستويات ضغط الصوت الذي يحدث أثناء الليل (من الساعة ١٠ مساءً حتى الساعة صباحاً). رمز آخر يستخدم لمستوى الصوت نهاراً - وليلاً (DNL) هو L_{dn} . الغرامة 10-dBA للأصوات في وقت الليل تمثل الضبط للمضايقات الإضافية التي سببتها هذه الأصوات. معظم الناس يكونون أكثر حساسية للصوت أثناء الليل، خاصة لأن مستويات الصوت العادية تكون أقل في هذا الوقت. قيم مستوى الصوت نهاراً - وليلاً يمكن قياسها بمعدة قياسية لقياس الصوت، كما أنه يمكن استنتاجها باستخدام نماذج الكمبيوتر. القيم المثالية لمستوى الصوت نهاراً - ليلاً (DNL) موضح في الشكل (٧/٨). فهو يتراوح من مستوى ضغط الأصوات ذات الترددات المختلفة (dBA) = ٤٠ في حالة الهدوء الشديد في الأماكن الحضرية الملاصقة لمعظم المطارات. في بعض الدراسات للتلوث الصوتي يتم توضيح قيم مستوى الصوت نهاراً - ليلاً في المدينة أو جوارها على خريطة في شكل كينتورات صوتية ترسم الخطوط ذات التعرض الصوتي المتساوي بنفس الطريقة التي تكون فيها ارتفاع الكنتورات مثل الرسم الطبوغرافي. قياس مستوى الصوت ليلاً - نهاراً له أهمية خاصة لتحليل ووصف تعرض المجتمعات لصوت الطيران، في أمريكا تم اختيار (L_{dn}) كأقصى معيار لتقدير صوت الطيران.

مستويات الصوت نهاراً - ليلاً في الأماكن خارج الأبواب

٩٠	—	
٨٠	—	قريباً من معظم المطار
٧٠	—	منطقة نشاط استثماري
٦٠	—	منطقة أصوات سكنية صاخبة
٥٠	—	منطقة أصوات صاخبة
٤٠	—	منطقة ريفية
	—	الحقول

شكل (٧/٨) المجالات المثالية لمستوى الصوت ليلاً - نهاراً في الأوساط البيئية

مثال :

مستويات الأصوات العابرة بسبب الحركة المرورية على الطرق السريعة تم قياسها على فترات ١٠ دقائق لمدة ١,٥ ساعة.

تم أخذ تسع قراءات لمستوى الصوت منفصلة (dBA) على التوالي، ٧٢، ٧٦، ٧٩، ٨١، ٨٤، ٧٦، ٧٥، ٧٥، ٧٤. عين مستوى الصوت الذي زاد ٥٠% من الوقت خلال كل فترة القياس الزمنية. كذلك عين قيم L_{90} , L_{10} .

الحل :

أولاً، أعد تنظيم ودرجة قراءات مستوى الصوت في شكل تنازلي كما هو موضح في الصفيين الأولين الآتيين :

dBA	٨٤	٨١	٧٩	٧٦	٧٦	٧٥	٧٥	٧٤	٧٢
الدرجة	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩
نسبة % لزيادة الوقت	١٠	٢٠	٣٠	٤٠	٥٠	٦٠	٧٠	٨٠	٩٠

النسبة المئوية للزيادة في الوقت يتم حسابها بسهولة بقسمة رقم الدرجة على رقم القراءات زائد ١ ثم الضرب في ١٠٠. فمثلاً، بالنسبة لمستوى الصوت بالدرجة ٣ (79 dBA). $100 \times [(+9) \div 3] = 30\%$. بمعنى آخر أثناء الفترة الزمنية التي تم فيها قياسات الصوت، فقد تساوت أو زادت (79 dBA - ٣٠) حوالي ٣٠% من الوقت (L30 = 79 dBA).

من الجدول يمكن ملاحظة أن $L50 = 76\text{dBA}$ ، والذي هو متوسط القراءات. كذلك يمكن ملاحظة أن ($L10 = 84\text{dBA}$). بمعنى آخر، يمكن افتراض أن ١٠% من الوقت مستويات الصوت تساوي أو زادت (84dBA) (حتى إن لم يكن هناك قياسات لمستوى الصوت أعلى من هذه القيمة).

رغم أن (72dBA) تبدو من البيانات المعطاة، أنها زادت معظم الوقت، فإن الحسابات أظهرت أن المستوى ليكون بقيمة (L90). (هذا مثال مبسط لطريقة إحصائية التي يمكن استخدامها لوصف مستويات الصوت العابرة أو المنقطعة، النتائج تصبح أكثر دقة مع زيادة قراءات عدد مستوى الصوت SL).

٣- تأثيرات الصوت : (Effects of Noise)

الفرق بين الصوت الهادئ (Sound) والصوت المرتفع (Noise) هو عادة شعور ذاتي، أي أنه مرتبط بفكرة الشخص. رغم اختلافات الفكرة، فإن بعض التأثيرات المحددة الضارة تكون بسبب التعرض للمستويات المرتفعة للصوت، سواء كانت تسمى الصوت المرتفع (Noise) أم لا. هذه التأثيرات قد تكون طبيعية أو انفعالية، ويمكن أن تتراوح في حدتها من مجرد كونها تسبب المضايقة إلى كونها شديدة الخطر وإحداث الألم. المستويات الزائدة من الأصوات العالية (Noise) يمكن أن تسبب مشاكل بيئية وخطورة في موقع العمل.

التأثيرات المباشرة الأكثر خطورة للأصوات الزائدة هو التلف الطبيعي للأذن والفقد المؤقت أو المستمر للقدرة على السمع نتيجة لهذا التلف. الفقد المؤقت في السمع عادة يسمى البداية المؤقتة للتحويل (Temporary threshold Shift)، وهي تمثل ضعف القدرة على اكتشاف الأصوات الضعيفة، القدرة على السمع عادة يتم استعادتها بعد حوالي شهر واحد من التعرض. الفقد المستمر، عادة يسمى بداية التحويل للتأثير المستمر للصوت، وهذا يمثل الفقد في القدرة على السمع من حيث لا يمكن استعادتها.

عند مستوى الصوت أقل من (80dBA)، لا يحدث فقد في السمع عادة إطلاقاً. ولكن يلاحظ تأثيرات مؤقتة عند مستويات المعرضين لمستويات صوت (95dBA) عند العمل يحدث لهم فقد في القدرة على السمع. مستوى الصوت (150dBA) يمكن أن يسبب التدمير لطبلة الأذن.

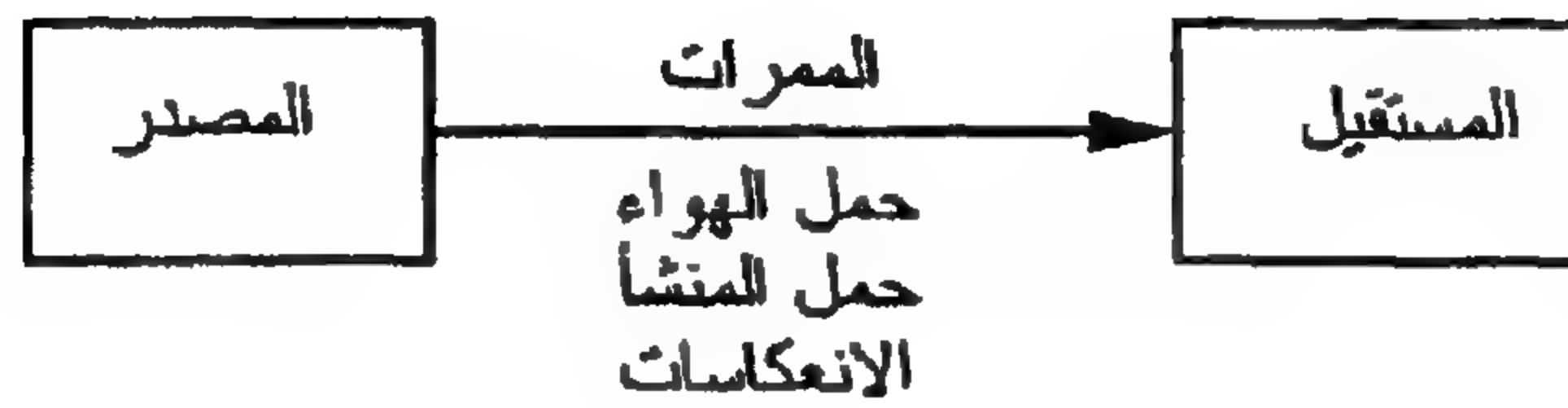
عموما الأصوات ذات التردد المرتفع والتردد المتوسط تكون أكثر ضرراً عن الأصوات ذات التردد المنخفض، عند نفس المستوى، ودرجة الفقد في السمع تتوقف على استمرارية وشدة الصوت. فمثلاً، عند التعرض لمدة ساعة واحدة لمستوى الصوت (100 dBA) يمكن أن يسبب انخفاض القدرة على اكتشاف الأصوات الضعيفة والتي يمكن أن تستمر لمدة يوم واحد فقط. ولكن في بعض الحالات وتحديدًا في المصانع حيث الماكينات المحدثة للأصوات العالية، فإن العمال يكونون معرضين لمستويات عالية من الصوت لعدة ساعات في اليوم. التعرض لـ (95 dBA) لمدة ٨ ساعات في اليوم ولمدة ١٠ سنوات يمكن أن يسبب حوالي 15dBA من الفقد في السمع.

بالإضافة إلى الفقد في السمع فإن المستويات الزائدة من الصوت يمكن أن تسبب تأثيرات ضارة على نظام الدورة الدموية مسببة ارتفاعاً في ضغط الدم والتغير في معدلات النبض. الأصوات المرتفعة يمكن كذلك أن تسبب تأثيرات فسيولوجية مثل الحساسية، الإجهاد، القلق. حتى أن ضعف التركيز والإجهاد الذهني هو من الآثار الصحيحة الواضحة من الأصوات. في الصناعة، فإنها تسبب انخفاض في كفاءة العامل وكذلك في الإنتاجية، زيادة انقطاع العمال عن العمل، وزيادة معدلات الحوادث. في المجتمع فإنها تتداخل مع النوم، الترفيه، والمحادثات الشخصية. مستويات الصوت خارج الأبواب حيث (Ldn) أقل من (55 dBA) ومستويات الصوت الداخلية الأقل من (45dBA) تعتبر هي الأفضل لمنع المضايقات وعدم التداخل مع المحادثات أو النوم. مستويات الصوت ليلاً أو نهاراً (DNLs) أكبر من (65 dBA) عادة لا تتوافق مع استخدام أراضي الإسكان أو منشآت الاستخدام العامة مثل المدارس أو المكتبات، حيث يلزم توهين أو ترقيق الصوت فوق هذا المستوى.

عموماً، فالصوت العالي يعتبر أكثر منه مجرد إزعاج أو مضايقة. الصوت العالي يمكن أن يكون له تأثير مباشر على الصحة العامة وكذلك على الإحساس بالراحة. يمكن أن لا يكون هناك سؤال عن تأثيرات الصوت على نوعية الحياة. خفض الصوت أو التحكم فيه في المجتمع أو في مكان العمل يعتبر من الاعتبارات الهامة في تكنولوجيا البيئة.

٤- تلطيف وتخفيف الصوت : (Noise Mitigation)

يمكن التحكم في الصوت المرتفع لتخفيفه أو خفض شدته، كما يمكن اتخاذ الخطوات لتقليل فترات التعرض له. كل مشاكل الحد من الصوت المرتفع تشمل عناصر أساسية ثلاثة، وهي مصدر الصوت، المسارات المباشرة وغير مباشرة لانتقال الصوت، وواحد أو أكثر من المستقبلين للصوت، أنظر الشكل (٧/٩). مستويات الصوت. وزمن التعرض تكون عموماً محدودة بقوانين وضوابط سلوكيات المجتمع.



شكل (٧/٩) العناصر الأساسية في تحكم الصوت. الهواء يوفر مسار مباشر لنقل الصوت، المواد الصلبة والانعكاسات توفر مسارات غير مباشرة.

الجدول الآتي (٧/١) يلخص العلاقة بين مستوى الصوت واستخدامات الأراضي. قيم L10 تشير إلى مستويات الصوت (SLs) التي لا تزيد عن ١٠% من الوقت.

جدول (٧/١) استخدام الأرضي ومستويات الصوت خارج الأبواب

درجة استخدام الأرضي	وصف استخدام الأرضي	L ₁₀ مستوى الصوت (dBA)
A	مساحات الأراضي حيث الصفاء والهواء تشكل احتياجات هامة للمجتمع، مثل المدرجات والأجزاء الخاصة من الأراضي مثل الميادين والمتنزهات العامة.	60
B	المناطق السكنية، الفنادق، المدارس، المكتبات، المستشفيات، وصالات المؤتمرات وأماكن الاستخدامات العامة.	70
C	تنمية الأرض الغير مبين في (A) أو في (B)	75

تقنيات التحكم في الصوت العالي :

توجد أربع طرق أساسية التي يمكن بها التحكم في الصوت. وهي حماية المستقبل، زيادة طول المسار، أو خفض الصوت من المنبع، إغلاق الممر. عموماً أفضل طريقة للتحكم في الصوت هي خفض مستويات الصوت عند المنبع. أحياناً يكون من الضروري استخدام واحدة أو أكثر من التقنيات، ذلك رغم أن طريقة وحيدة يمكن أن تكون مؤثرة.

حماية المستقبل : (Protection of the Recipient)

أحد الطرق لحماية الأفراد من المستويات العالية للصوت هو باستخدام سدادات الأذن. سدادات الأذن ذات التصميم الخاص يمكنها خفض مستوى الصوت الذي يصل إلى طبلة الأذن بحوالي (40dBA)، وهي مفيدة جداً لحماية العاملين في الصناعة أو في الإنشاءات والمعرضين إلى الأصوات المرتفعة لفترة زمنية طويلة. ولكنها غير مناسبة للاستخدام العملي للشخص المتوسط بالنسبة لأصوات المجتمع. كما أنه لا يمكن الاعتماد على سدادات الأذن كحل وحيد. العاملين عادة لا يستخدموها على أساس استمراري، رغم مطالبة الشركات باستخدامها.

زيادة مسافة المسار : (Increasing Path Distance)

تنخفض مستويات الصوت كثيراً مع زيادة المسافة من مصدر الصوت. زيادة طول المسار بين المصدر والمستقبل يوفر وسائل سلبية للتحكم، حيث لا تتطلب أي مجهود من جانب المستقبل. قواعد استخدامات الأراضي المتعلقة بمكان المطارات وأدنى مسافات بين المنازل والمساكن والطرق السريعة يستخدم تأثير التوهين والترقيق للمسافة على مستويات الصوت. جهود التخطيط الضعيف على الجانب الآخر، يمكن أن ينتج عنها مواقف حيث المنازل تكون ملاصقة جداً للطرق السريعة. كمثال في كاليفورنيا تم بناء بعض المنازل ملاصقة لمسافة ٦ أمتار من الطرق السريعة. عند هذه المسافة، مستويات الصوت داخل المنازل حيث النوافذ مغلقة يمكن أن يصل إلى (70dBA) من مرور المركبة.

الصوت المرتفع (Noise) يكون أكثر منه مسبباً للمضايقة عند هذا المستوى. المحادثات العادية قد تكون مستحيلة.

الخفض أو الترقيق في مستويات الصوت مع زيادة المسافة من المصدر يحدث لأن كمية طاقة الصوت الثابتة يتم انتشارها وتخفيفها على مساحة كبيرة. مع انتشار الموجة الصوتية إلى الخارج من مصدرها، فإن قوتها تقل، من نقطة المصدر، الموجات الصوتية

تميل لتكوين دوائر متحدة المركز وانخفاض الكثافة أو للقوة مع مربع المسافة من المصدر. فمثلاً، في حالة مضاعفة طول المسار، فإن كثافة الصوت التي تصل إلى المستقبل تكون ربع كثافته الأصلية. وهذا ما يعرف بعكس قانون المربع (Inversesquare Law).

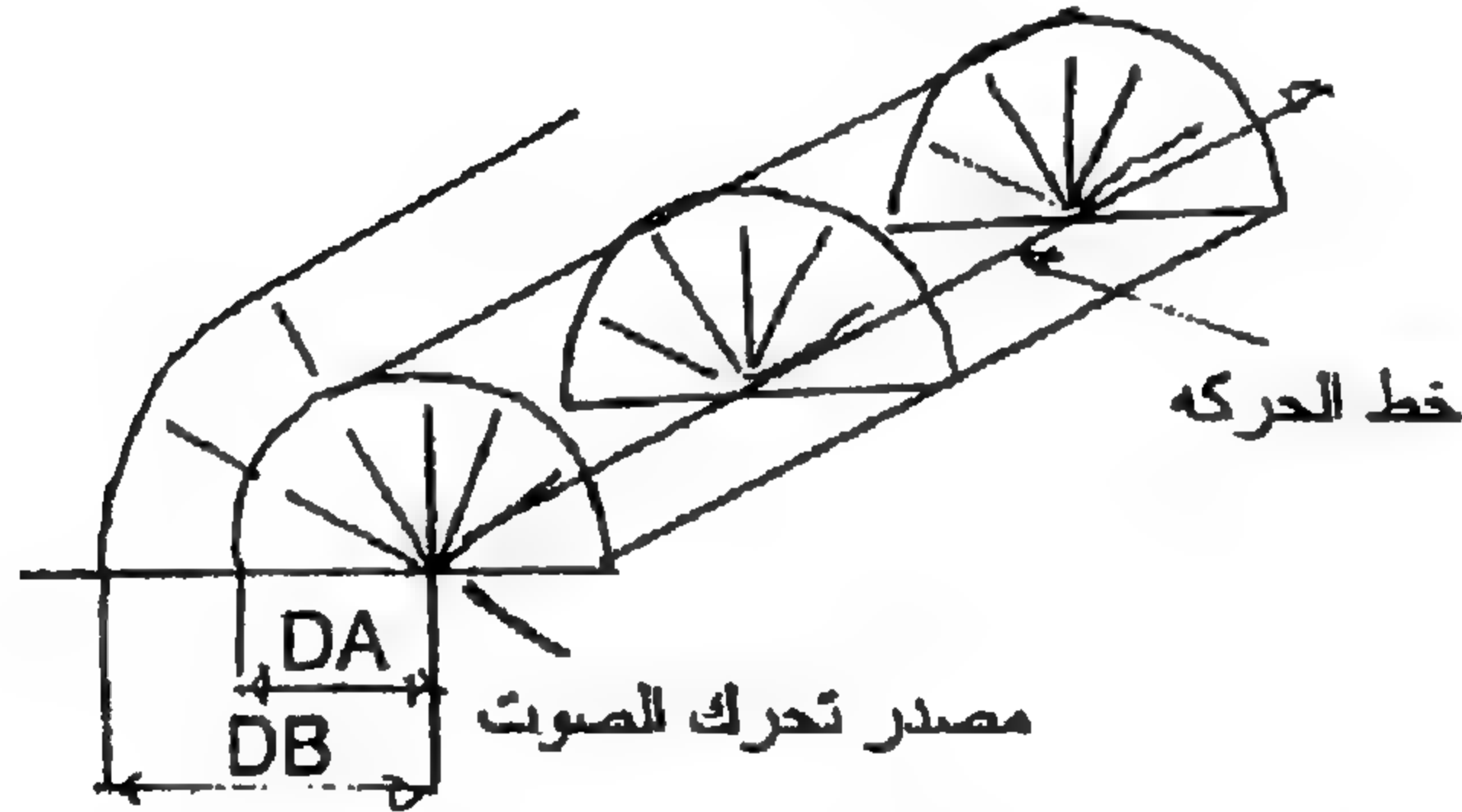
معظم مصادر الصوت ليست نقط، وانعكاسات الموجات الصوتية من الأرض أو الحوائط والأسقف تمنع تكون موجات دائرية. الطريق السريع، مثلاً، يعتبر مصدر خط (Line source) للصوت، الذي منه ينتشر الصوت في شكل نصف اسطوانة شكل (٧/١٠). العلاقة بين مستوى الصوت والمسافة من خط المصدر يمكن كتابتها كالتالي:

$$SL_B = S_A - 10 \times \log \left(\frac{D_B}{D_A} \right)$$

حيث :

SL_A = مستوى الصوت عند مسافة D_A من المصدر

SL_B = مستوى الصوت عند مسافة D_B من المصدر



شكل (٧/١٠) مع انتشار الموجة الصوتية من خط المصدر للصوت، فإن مستوى الصوت ينخفض بحوالي معدل (3dBA) لكل ضعف المسافة من المصدر

مثال :

تم قياس مستوى الصوت عند مسافة ٤ أمتار من خط المنتصف لطريق سريع مشغول وكان (85dBA). (أ) ما هو مستوى الصوت عند مسافة ١٢ متراً من خط المنتصف للطريق؟ (ب). عند أي مسافة من خط المنتصف للطريق يحدث انخفاض لمستوى الصوت إلى (79dBA)؟

الحل :

(أ) باستخدام المعادلة السابقة الخاصة بالعلاقة بين مستوى الصوت والمسافة من خط المصدر.

$$SL_{12} = 85 - 10 \times L \log \left(\frac{12}{4} \right)$$

$$= 85 - 10 \times 0.477 = 80 \text{ dBA}$$

(ب) استخدام المعادلة نفسها ثانياً ينتج

$$79 = 85 - 10 \times \text{Lag} \left(\frac{D_B}{4} \right)$$

$$\text{Lag} \left(\frac{D_B}{4} \right) = \frac{79-85}{-10} = 0.6$$

من تعريف الدالة اللوغاريتمية

$$\left(\frac{D_B}{4} \right) = 10^{0.6} = 3.98$$

$$\therefore D_B = 4 \times 3.98 \quad , \dots = 16 \text{ m}$$

مستويات الصوت من خط المصدر تقل بمعدل (3dBA) لكل ضعف للمسافة من المصدر (استخدم المعادلة السابقة لإثبات ذلك). ولكن مستويات الصوت من نقطة المصدر تنخفض بضعف ذلك المعدل، أو (6dBA) لكل مضاعفة للمسافة. استخدم المخطط الموضح في الشكل (٧/٤) لإضافة مستويات الصوت، مع معادلة المسافة المناسبة، تمكن من توقع مستويات الصوت من النقل، الإنشاءات، أو مصادر الصوت الأخرى في المجتمع أو الجوار.

حواجز الصوت : (Noise Barriers)

الحاجز الذي يوضع في ممر الموجة الصوتية يمتص ويعكس بعض من طاقة الصوت، حيث تنخفض مستويات الصوت على الجانب المعاكس للمصدر. مواد مختلفة تمتص أو تعكس طاقة الصوت بكميات مختلفة. مواد الامتصاص تشمل الستائر الثقيلة، السجاجيد، ومواد السقف الخاصة ومواد الحائط السمعية. مواد الامتصاص يمكن أن تتحكم في الصوت الداخلي، انعكاس الصوت، وصد صدى الصوت (الصوت المنعكس الذي

يستمر في مكان مغلق بعد توقف المصدر). معظم المواد الصلبة، الناعمة عديمة النفاذية تعكس الصوت. لعمل أي حاجز صوت بكفاءة فإن كل التشققات أو الفتحات الأخرى يجب قفلها.

مادة التشطيب الداخلي عالية الامتصاص للحوائط والأسقف والأرضيات يمكن أن تقلل مستويات الصوت داخل الأبواب إلى حد كبير. في قاعات المؤتمرات، الموسيقى، قاعات الدراسة، والمسارح، فإن أسطح الانعكاس والامتصاص يجب أن يتم تنسيقها بحرص لخلق أفضل حالات الاستماع. الاستقلال الصوتي بين الحجرات يمكن تحقيقه بسهولة بقواطع التي تكون ثقيلة ومحكمة ضد تسرب الهواء. معظم مواد البناء والمكونات يتم اختبارها بالنسبة لخواص الصوت وترقم بأرقام درجة انتقال الصوت. مع زيادة رقم انتقال الصوت بالنسبة لأي من القواطع، كلما كانت الاستقلالية الصوتية أفضل بين الغرف المتجاورة. فمثلاً، نصف بوصة من الجبس على الألواح المثبتة على القوائم الخشبية توفر رقم الانتقال الصوت حوالي (30dB)، وجدار من الطوب بسمك ٤ بوصات له رقم انتقال الصوت حوالي (45dB).

الأسقف المصنعة من مواد الصوف الزجاجي (Fibrous) عادة تسمى الأسقف السمعية، هي ذات قدرة امتصاص عالية للصوت (ليس مثل ألواح الجبس التي هي عالية الانعكاس). الخواص الصوتية لمادة الأسقف هذه توصف بمقادير معاملات خفض الصوت. معاملات خفض الصوت ٠,٨ مثلاً، تبين أن المادة تمتص ٨٠% من الصوت الذي يصلها وتعكس فقط ٢٠% منه. معظم الأسقف الصوتية لها معامل خفض الصوت ما بين ٠,٥ ، ٠,٩، بينما ألواح الأسقف المغطاة بطبقة من الجبس لها معامل خفض الصوت أقل من ٠,٠١. الأسقف الصوتية مفيدة في خفض مستويات الصوت الداخلية في المكاتب، المطاعم، المصانع المحدثة للضجيج، مخازن البيع بالتجزئة. ولكن، فإنها توقف انتقال الصوت.

المواد المسامية خفيفة الوزن التي تنتج معدل عالي لخفض الصوت تسمح لمعظم الصوت بالمرور خلالها. في الواقع، السقف الذي له معدل عالي لخفض الصوت يكون له رقم انتقال للصوت منخفض. لخفض الصوت الداخلي وانتقال الصوت في نفس الوقت، يمكن استخدام ألواح الأسقف المركبة، هذه الألواح تصنع من مادة عالية الامتصاص تتطابق مع مادة أكثر كثافة التي توفر الخصوصية الصوتية.

خفض المصدر : (Source Reduction)

ربما أن الوسيلة المباشرة للتحكم في الصوت هي لخفض الصوت المنتج من المصدر نفسه. المحركات والآلات يمكن كتم صوتها لخفض الصوت. في الأنشطة الصناعية يمكن

تحقيق خفض الصوت باستخدام أغلفة صلبة محكمة حول الماكينات، مع التبطين لمادة الأغلفة هذه من الداخل بواسطة مادة امتصاص الصوت. الماكينات أو أغلفتها يمكن عزلها من الأرض باستخدام حامل زبركي خاص أو حامل ماص، يمكن كذلك استخدام وصلات مرنة لداخل خطوط المواسير لخفض انتقال الصوت.

أحد أفضل الطرق لخفض مصدر الصوت هو الصيانة الجيدة والمنتظمة للماكينات في التشغيل. حتى أن الماكينات ذات أفضل تصميم تحتاج التشحيم والتزييت طبقاً لخطة وكذلك تحتاج لإعادة الاستقامة لخفض الاهتزازات إلى أدناها. الاتزان المناسب للمكونات الدوارة واستبدال القطع التالفة والتروس ضروري، التقريط يجب مراجعته من أن إلى آخر لضمان عدم التفكك. كل الماكينات يجب أن تعمل طبقاً لحدود تصميمها الأصلي وذلك لخفض الاهتزازات.

الأصوات من الأنشطة الإنشائية والصناعية :

الأنشطة الإنشائية كانت مصدر الشكوى المتعلقة بالأصوات المرتفعة. الأنشطة الإنشائية تتطلب استخدام معدات ثقيلة كل منها يمكن أن يكون مصدراً كبيراً للصوت، انظر الشكل (٧/١١). مستويات الصوت في مواقع الإنشاء يمكن الحد منها باستخدام الخطة المناسبة للإنشاء وتقنيات الجدولة. فمثلاً، وضع أجهزة ضغط الهواء المحدثة للأصوات العالية وما يشبهها من المعدات الأخرى بعيداً من حدود الموقع سيساعد على تخفيف مستويات الصوت خارج الموقع. الحواجز المؤقتة يمكن كذلك استخدامها للحد الطبيعي من الصوت. يجب أن يكون مدير الإنشاء ملماً بالقواعد المنظمة للحد من الضجيج، وكذلك حدود الصوت المسموح به من مختلف أنواع المعدات.

معدات الإنشاء مثل ضواغط الهواء المحمولة، معدة تكسير الصخور، وكذلك الحفر في الصخر، ومعدات تكسير الأسفلت يجب اختبار أصواتها بواسطة صانع المعدة كما يجب أن تتطابق مع معدلات انبعاث الصوت المقررة. مستويات الصوت ذات الثقل (A) يتم قياسها عموماً على مسافة لكل من ١، ٧ أمتار. المواصفات القياسية الدولية (ISO) اقترحت كذلك معايير لانبعاث الصوت لماكينات الإنشاء. ولكنها مبنية على مستويات قوة الصوت وليست على مستويات ضغط الصوت.

ضواغط الهواء المحمولة التي توفر الطاقة لمعدات إنشاءات معينة تم تعريفها بأنها من أهم مصادر الصوت في موقع الإنشاء. الضواغط الضخمة تحتاج إلى تطبيق كامل متضمناً عوازل الاهتزاز وألواح امتصاص الصوت، الهواء يجب دخوله خلال مسارات

(مواسير) معالجة للحد من تأثيرات الصوت، كذلك يجب استخدام مسكن الصوت العادم في الماكينة. هذه الإحاطات (التطويقات) يمكنها من خفض الصوت من حوالي 110 إلى 85 dBA عند مسافة واحد متر. ولكن توجد بعض أنواع معدات الإنشاء التي يكون من الصعب خفض انبعاثات الصوت. فمثلاً، فإنه يمكن خفض مستويات الصوت باستخدام أجهزة خاصة لكتم صوت العادم، وهذه يمكنها خفض لكسارات الرصف وثاقبات الصخور فقط من حوالي (108 dBA) إلى حوالي (100dBA) عند واحد متر.

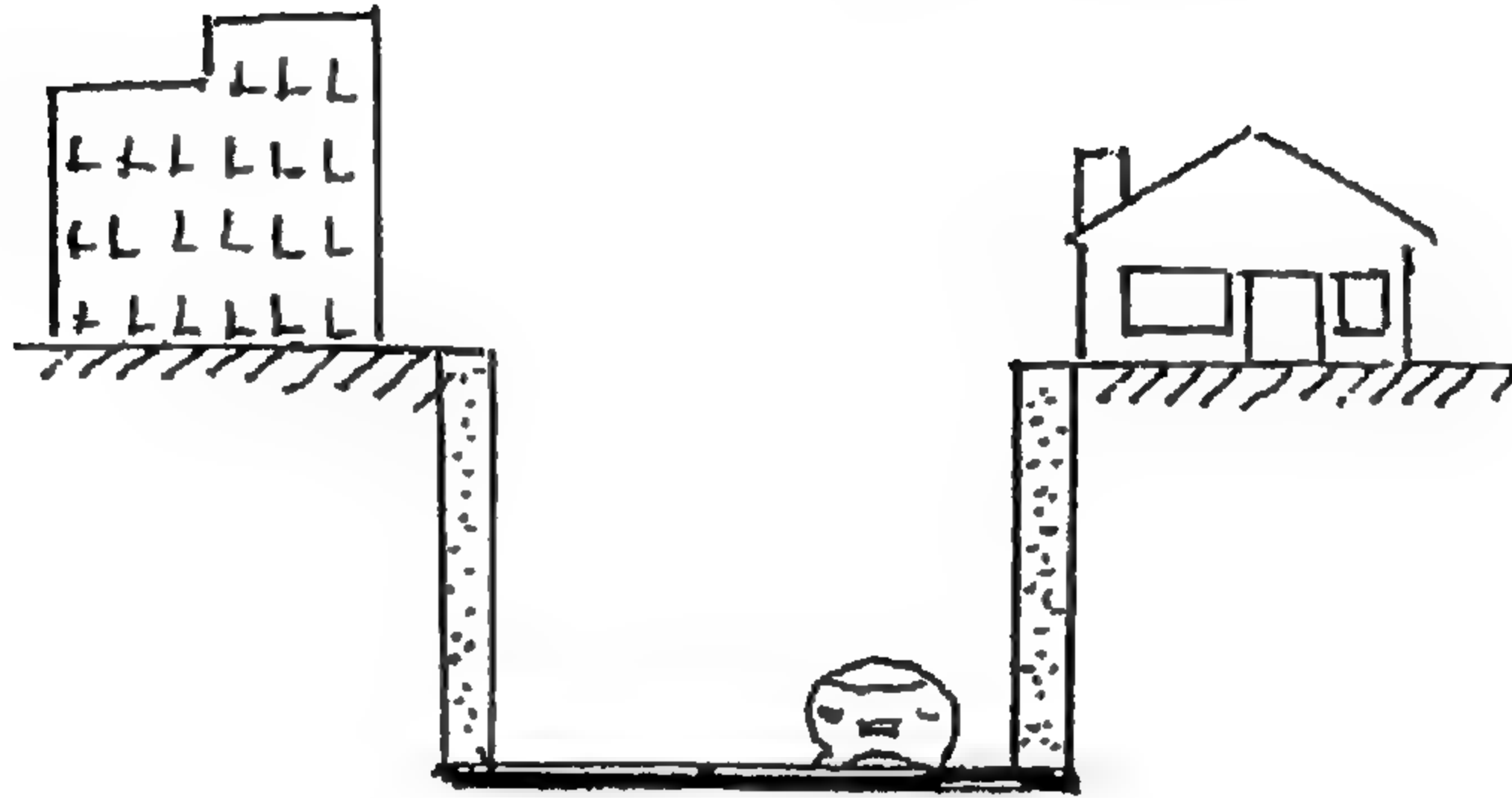
		مستوى الصوت dBA عند ٥٠ متر					
		٦٠	٧٠	٨٠	٩٠	١٠٠	١١٠
معدات التي تعمل بمحركات التوربين	اسطوانات تسوية						
	اولاد امامية						
	حفار عكسي						
	جرارات						
	قضائيات ، جريرات						
	معدات رصف						
تداول المواد	جرارات						
	خلاطات خرسانة						
	مضخات خرسانة						
	لوانش متحركة						
ثابتة	أوناش على منصة						
	طلبيات						
	مولدات						
معدات	ضواغط						
	بريمه هوائية						
الصدمة	مطارق ومثاقب الرفع						
	دافعات للخواريق						
الزلازل	هزاز						
	منشآت						

شكل (٧/١١) المجالات النسبية لمستويات الصوت لبعض أنواع معدات الإنشاء الثقيلة

صوت النقل : (Transportation Noise)

معظم أصوات سيارات الحركة المرورية تأتي من حركة عجل المركبة على الرصف ومقاومة الريح. صوت المحرك والعادم للسيارات ذات الصيانة الجيدة تضيف قليل إلى مستوى الصوت. حجم الحركة المرورية والسرعة له تأثيرات كبيرة على كل مستويات الصوت. مضاعفة السرعة تزيد من مستويات الصوت بحوالي (9dBA)، مضاعفة حجم الحركة المرورية (عدد السيارات في الساعة) يزيد من مستويات الصوت بحوالي (3BA). كذلك التدفق الجيد للحركة المرورية يسبب صوت أقل مقارنة بالشكل المروري الذي يشمل الإيقاف والتحرك.

التخطيط الجيد للطرق السريعة وتصميمها يعتبر أساسى للحد من أصوات الحركة المرورية. تقييد حدود السرعة المنخفضة لقطاعات الطرق السريعة التى تمر خلال المناطق السكنية، تقييد حجم الحركة المرورية، وتوفير المسارات البديلة لعربات النقل والشاحنات كل هذا يمكن أن يكون مؤثراً كإجراء للحد من الصوت. استخدام الممرات فى أنفاق خلال الأماكن الحضرية مؤثر جداً فى خفض صوت الحركة المرورية بالنسبة للمباني المجاورة. وهذا موضح فى الشكل (٧/١٢).



شكل (٧/١٢) أحد الطرق لخفض صوت المرور فى المدينة هو ببناء

مقاطع من الطريق فى مقطع أسفل مستوى الطريق

مسار صوت الحركة المرورية يمكن كذلك حجبه بإنشاء الحواجز الرأسية على طول جانب الطريق السريع. الحوائط الخرسانية أو من الطوب ذات الارتفاع حتى ٤ أمتار يمكنها أن تقلل من مستويات الصوت بحوالى (15dBA). المسارات الضيقة المائلة الأرضية ذات المناظر الطبيعية الكثيفة يمكن أن توفر حل أكثر جاذبية كحاجز للصوت، ولكن عموماً تتطلب حق الأشغال على طول الطريق وهى مكلفة مقارنة بالحواجز الخرسانية أو من الطوب.

أحد أكثر أنواع الأصوات مضايقة تلك التى فى البيئة خارج الباب والتى تكون من الطيران الفوقى للطائرات والقريب من المطارات. معظم الصوت يكون من نظام الدافع للطائرة، المحركات، ريش التربين، مسارات عادم المحرك - أصوات إضافية تأتي من اهتزازات الإطار الهوائى والاضطراب الديناميكى للهواء. يمكن تخفيف حدة الصوت بتحسين تصميم الطائرة والمحرك وكذلك التحكم فى نظام الطيران. توجد معايير كثيرة لقياس ووصف صوت الطائرة، كما توجد مجالات كثيرة لتطوير نظم التحكم فى الصوت.

مراجع الجزء الأول (هندسة البيئة)

- 1- Ray, B. T. Invironmental Engineering, PWS Publishing Company, Boston, 1995.
- 2- Davis, M.L, and Cornwell, D. A, Introduction to Environmental Engineering, McGraw- Hill, New York 2nd Edition 1991.
- 3- Metcalf & Eddy, Inc, Wastewater Engineering Treatment, Disposal, Reuse, 3rd Edition, McGraw Hill Inc. New York 1991.
- 4- Hammer M. J. Sr and Hammer M. J. Jr. Water and Wastewater Technology 4th Edition, Prentice - Hall, Inc, Vpper Saddle River, New Jersey, 2001.
- 5- Viessman W, and Hammer. M.J. Water Supply and Pollution Control 6th Edition, Addison - Wesley Publishing Co. Reading, MA, 1998.
- 6- Beranek, L, Noise and Vibration Control Engineering John Wiley & Sons, Inc. New York, 1992.
- 7- Blackman, W, C, Jr Basic Hazardous Waste Management, Lewis Publishers/CRC Press, Bocarton Fl, 1998.
- 8- ملاحق اللائحة التنفيذية لقانون البيئة رقم ٤/١٩٩٤.
- 9- إعداد المياه للشرب والاستخدام المنزلى للمؤلف طبعة ٢٠٠٢.

الجزء الثانى

الهندسة الصحية

الفصل الأول : الهيدروليكا

الفصل الثانى : نوعية المياه

الفصل الثالث : تنقية المياه للشرب

الفصل الرابع : نظم توزيع المياه

الفصل الخامس : نظم شبكات الصرف الصحى

الفصل السادس : معالجة وإعادة استخدام مياه الصرف

الهندسة الصحية

مقدمة:

موضوعات الهندسة الصحية تتضمن منهج لدراسات نظم معالجة مياه الشرب والإمداد بها وكذلك نظم تجميع ومعالجة وإعادة استخدام مياه الصرف الصحي. وقد تم إعداد هذا المرجع وتصميمه أساساً لإفادة الدارسين لموضوعات الهندسة الصحية في الكليات والمعاهد. كما يستفاد به في الدراسات البيئية وكذلك للمهتمين في زيادة الثقافة البيئية نحو المحافظة على الصحة العامة. وكذلك لتمكين المهتمين بشئون البيئة والصحة العامة من المهندسين والعلميين وآخرين في مختلف التخصصات الراغبين في المساهمة في العمل البيئي الاستعان به هذا الإصدار كمدخل تقني للتعرف على مشاكل الهندسة الصحية وحلولها العملية.

نظراً لأن مجال الهندسة الصحية يحتوي على العديد من الموضوعات فقد تم تخصيص الفصل الأول والثاني من الكتاب للتعرف على هندسة الهيدروليكا ونوعية المياه وذلك لتمكين الدارس من استيعاب الأسس التطبيقية لباقي الفصول حيث تناول الفصل الثالث التطبيقات الهندسية لتنقية مياه الشرب والفصل الرابع نظم توزيع مياه الشرب أما الفصل الخامس فقد تم تخصيصه لتغطية موضوع نظم شبكات مواسير تجميع مياه الصرف الصحي وقد تم في الفصل السادس تناول موضوعات معالجة وإعادة استخدام مياه الصرف الصحي التقليدية وكذلك المعالجات منخفضة التكاليف التي تناسب المجتمعات الريفية.

ولقد كان الهدف من إعداد هذا الإصدار هو إثراء المكتبة العربية بكل جديد في مجال الهندسة الصحية وإفادة الدارسين والباحثين والمهتمين في هذا المجال.

والله أسأل أن يحقق ما نبغيه

مهندس استشاري

محمد أحمد السيد خليل

الفصل الأول

الهيدروليكا (Hydraulics)

مقدمة :

دراسة الماء من السكون ومن الحركة تسمى الهيدروليكا. الهيدروليكا التطبيقية ترتبط أساساً بحساب معدلات التدفق، والضغط والقوى في المياه ومياه الصرف في الخزانات ووسائل انتقالها. يعتبر الماء من الناحية التطبيقية سائل غير قابل للانضغاط حيث وحدة الوزن هي ٦٢,٤ رطل/ القدم المكعب. السلوك الطبيعي والهيدروليكي لمياه الصرف (الصرف الصحي) تشبه ذلك للماء النقي حيث لا يوجد اختلاف في التصميم أو التحاليل لكلا هذين السائلين.

في النظام المترى وحدة الوزن (القوة بسبب الجاذبية) تسمى نيوتن (N) ووحدة الوزن للماء هي ٩٨٠٠ نيوتن للمتر المكعب (9800N/m³). مع التقريب يعبر عن هذه بـ (٩,٨ كيلو نيوتن/م^٣). الهيدروليكا هي عامل هام في تكنولوجيا البيئة. حيث معرفة أساسيات الهيدروليكا ومبادئها ضرورة عملية للمحترفين في مجال تصميم أو تحليل نظم إمدادات صرف، الحد من تلوث المياه. وهذه الدراسة تفيد المبتدئين وكذلك للمراجعة السريعة لمن لهم دراسات سابقة في الهيدروليكا أو ميكانيكا السوائل.

١- الضغط : (Pressure)

المياه ومياه الصرف تمارس قوى ضد حوائط محتواها، حيثما كانت مخزنة في خزانات أو متدفقة في خط مواسير. يمكن كذلك أن نقول أن المياه تمارس ضغط، يوجد فرق بين القوة والضغط، رغم أن العلاقة بينهما قريبة. يعرف الضغط بأنه القوى على وحدة المساحة. ويمكن توضيح ذلك في شكل معادلة كالآتي :

$$(1) \quad P = \frac{F}{A}$$

حيث : P = الضغط ، F = القوة ، A = المساحة التي توزع عليها القوة.

في الوحدات الأمريكية يعبر عن الضغط بالرطل على البوصة المربعة.

وفي الوحدات المترية يعبر عن الضغط بالنيوتن على المتر المربع.

الفصل الأول

وحدة النيوتن/ المتر المربع (N/m^2) تسمى باسكال (Pascal). واختصارها (Pa). نظراً لأن ضغط واحد باسكال يكون صغيراً جداً حيث واحد باسكال = 0.000145 رطل/ البوصة المربعة أي ($1 \text{ Pa} = 0.000145 \text{ Psi}$). فإنه يستخدم التعبير كيلو باسكال (Kpa) في معظم التطبيقات الهيدروليكية العملية، حيث :

واحد كيلو باسكال = 1000 باسكال ($1 \text{ K Pa} = 1000 \text{ Pa}$) = 0.145 رطل على البوصة المربعة = (0.145 Psi).

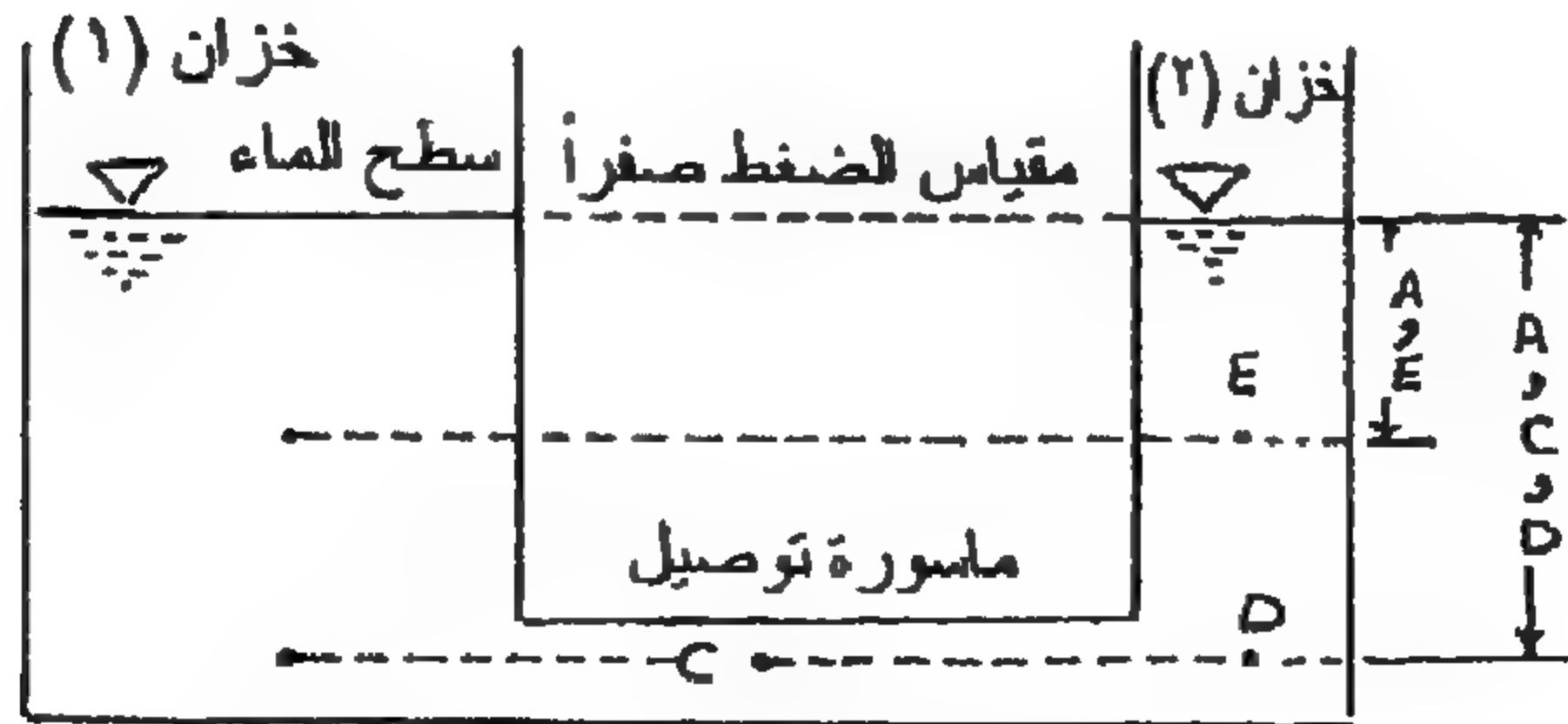
. . كيلو باسكال = 14.5 رطل/ البوصة المربعة = واحد ضغط جوى.

الضغط الهيدروستاتيكي : (Hydrostatic Pressure)

الضغط الذى يمارسه الماء من حالة الثبات يسمى الضغط الهيدروستاتيكي. المبادئ الهامة جداً الآتية تنطبق دائماً على الضغط الهيدروستاتيكي: يعتمد الضغط فقط على ارتفاع الماء فوق نقطة ما (ليست على مساحة سطح الماء). يزداد الضغط بنسبة العمق.

الضغط فى حجم مستمر للماء هو نفسه عند كل النقط التى عند نفس العمق. الضغط عند أى نقطة فى الماء يعمل فى كل الاتجاهات بنفس القدر.

بفرض خزانين متصلين بواسطة ماسورة أفقية كما فى الشكل (١/١) تكون أسطح المياه فى الخزانين عند نفس الارتفاع. يمكن اعتبار الضغط عند سطح الماء أنه يساوى صفراً. فى الواقع يوجد بعض الضغط عند السطح الحر بسبب وزن عامود الهواء فوقه. هذا الضغط يسمى الضغط الجوى أو الضغط البارومتري.



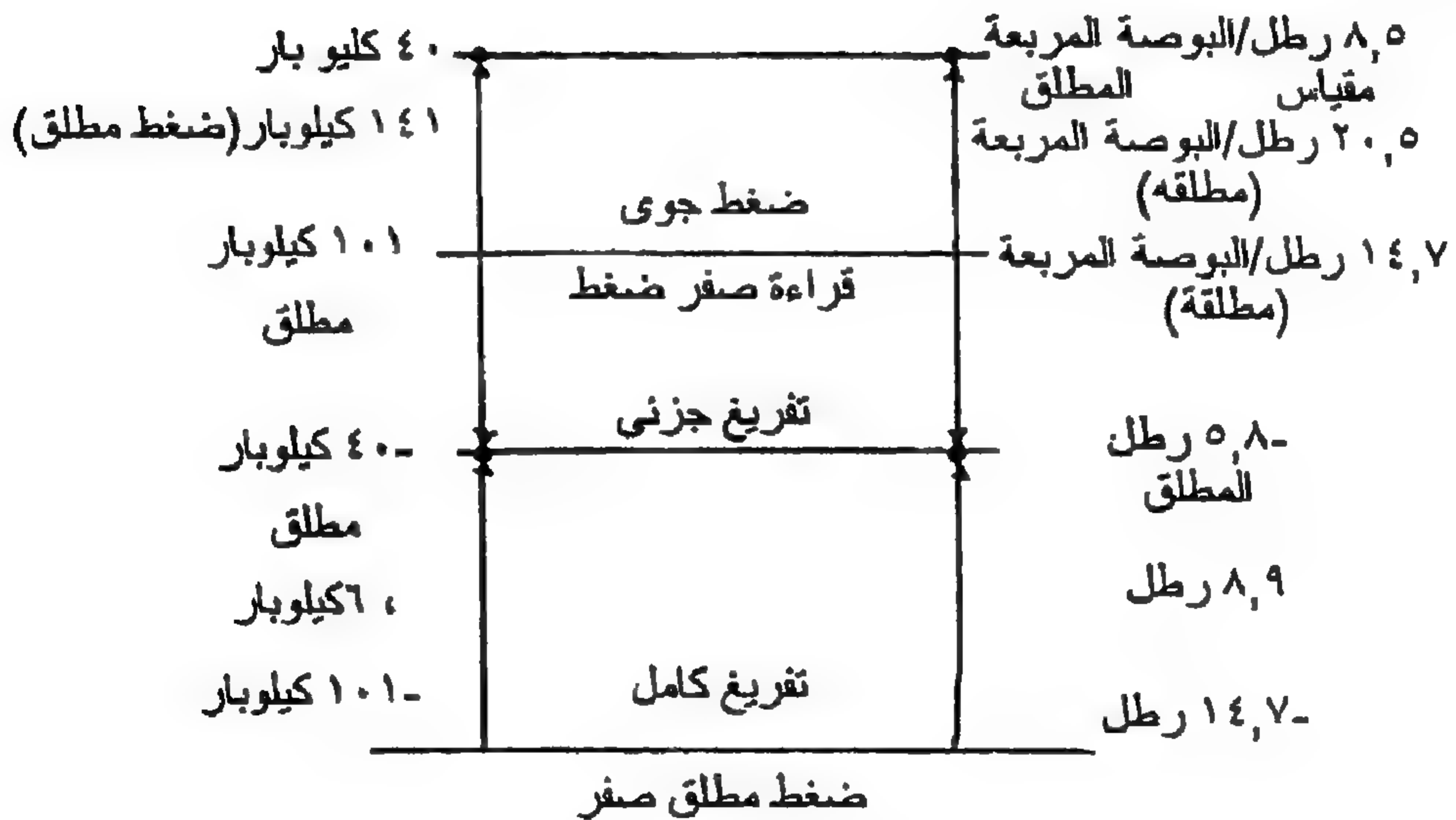
شكل (١/١) الضغط عند النقطة (A) يساوى الضغط عند النقطة E

حيث أن هذه النقط عند نفس العمق فى الماء.

بالمثل الضغط الهيدروستاتيكي عند النقط B , C , D تكون متكافئة

الضغط الجوي عند سطح البحر هو حالياً ١٠١ كيلو باسكال أو ١٤,٧ رطل على البوصة المربعة. في معظم التطبيقات العملية يتم إهمال الضغط الجوي في الحسابات الهيدروليكية. بمعنى آخر فإننا نعتبر الضغط الجوي ليكون صفر نقطة البدء. عندئذ، فإننا نتعامل مع الضغط الذي يتم قياسه (Gage Pressure) وليس الضغط المطلق.

التفريغ الكلي يكون ضغطه الصفر المطلق. الضغوط التي أقل من الضغط الجوي ولكنها أكبر من الصفر المطلق هي التفريغ الجزئي (Partial Vacuums). التفريغ الجزئي عند التقييم كضغط مقاس يكون له علامة سالبة، الضغط المطلق يكون دائماً له علامة موجبة. فمثلاً الضغط المطلق أو الكلي لـ ٦١ كيلو باسكال (٨,٩ رطل / البوصة المربعة) يكافئ ضغط مقاس - ٤٠ كيلو باسكال (- ٥,٨ رطل / البوصة المربعة). وهذا موضح في الشكل (١/٢)



شكل (١/٢) الضغط مقاس بالمعايرة بالضغط القياسي أو الضغط الجوي يسمى (Gage Pressure) يمكن أن يكون بعلامة سالبة عندما يكون أقل من الضغط الجوي. الضغط المطلق (Absolute Pressure) يكون دائماً موجبا.

المبدأ الثاني للضغط الهيدروستاتيكي الموضح سابقاً أنه يمكن الملاحظة من الخبرة الشخصية عند الغطس تحت الماء في حمام سباحة أو في بحيرة، أنه يمكن الشعور بالضغط على الجسم (وخاصة طبلة الأذن) الذي يزداد عند الغوص إلى عمق أكبر في الماء. الضغط عند النقطة (B) القريبة من قاع الخزان شكل (١/١) أكبر من الضغط عند النقطة (A)، كذلك الضغط عند النقطة (A) أكبر من صفر. في الحقيقة، إذا كانت النقطة

(B) كانت على عمق ضعف عمق النقطة (A)، فإن مقياس الضغط عند (B) سيكون ضعف الضغط عند (A) ذلك لأن الضغط يتغير بنسبة مباشرة للعمق.

في حالة النقطة (E) في الشكل (١/١) في الخزان رقم (٢). نظراً لأن النقطة (E) هي عند نفس العمق أسفل سطح الماء مثل النقطة (A) فإن الضغط عند النقطة (A) هو نفسه الضغط عند النقطة (E).

لا يوجد أى اختلاف لكون الخزان (2) أضيق من الخزان (1). الضغط الهيدروستاتيكي يتوقف على ارتفاع الماء فقط فوق النقط وليس على الحجم أو المساحة السطحية للماء.

حتى أن النقطة (C) في الماسورة الموصلة ليس لديها ماء فوقها مباشرة، ولكنها تظل لها نفس الضغط مثل النقط (B) ، (D). وهذا طبقاً للمبدأ الثالث. طريقة أخرى للتعبير عن ذلك هي بالقول أن الضغط في السائل الساكن باستمرار ينقل بدون أبعاد على نفس العمق خلال كل السائل.

حساب الضغط :

في حالة الشكل (١/٣-a) حيث مساحة القاع هي ٢م^٢. إذا كان الخزان مملوءاً بالماء لارتفاع ١ متر، فإن حجم الماء عندئذ يصبح ٣م^٣ ويكون وزنه ٩,٨ كيلو نيوتن. الضغط عند قاع الخزان يمكن حسابه من المعادلة رقم (١) حيث :

$$P = \frac{F}{A}$$

حيث : P = الضغط ، F = القوة ، A = المساحة

. . الضغط = ٩,٨ كيلو نيوتن ÷ ١ متر مربع = ٩,٨ كيلو نيوتن/م^٢

= ٩,٨ كلو باسكال (9.8 K Pa).

إذا زاد ارتفاع الماء في الخزان إلى ٢ متر، وأصبح الوزن الكلي للماء هو ٢

٩,٨ × ١٩,٦ كيلو نيوتن، ويصبح الضغط عند القاع = ١٩,٦ كيلو

نيوتن/م^٢ = ١٩,٦ كيلو باسكال كما هو موضح في الشكل (١/٣-b). يمكن كذلك

ملاحظة في الشكل (١/٣-c) أنه في حالة الخزان بمساحة سطحية ٤ م^٢ مملوء بالماء لأن

الارتفاع الإضافي للماء يكون منتشراً على المساحة الأكبر. وهذا أيضاً يوضح أحد

المبادئ الأساسية للهيدروستاتيكا: حيث أن الضغط عند نقطة في الماء يتوقف فقط على ارتفاع الماء فوق هذه النقطة. التعبير عن ذلك بالمعادلة يكون كالاتي :

$$(1) \quad P = 9.8 \times h$$

حيث P = الضغط الهيدروستاتيكي (كيلو باسكال)

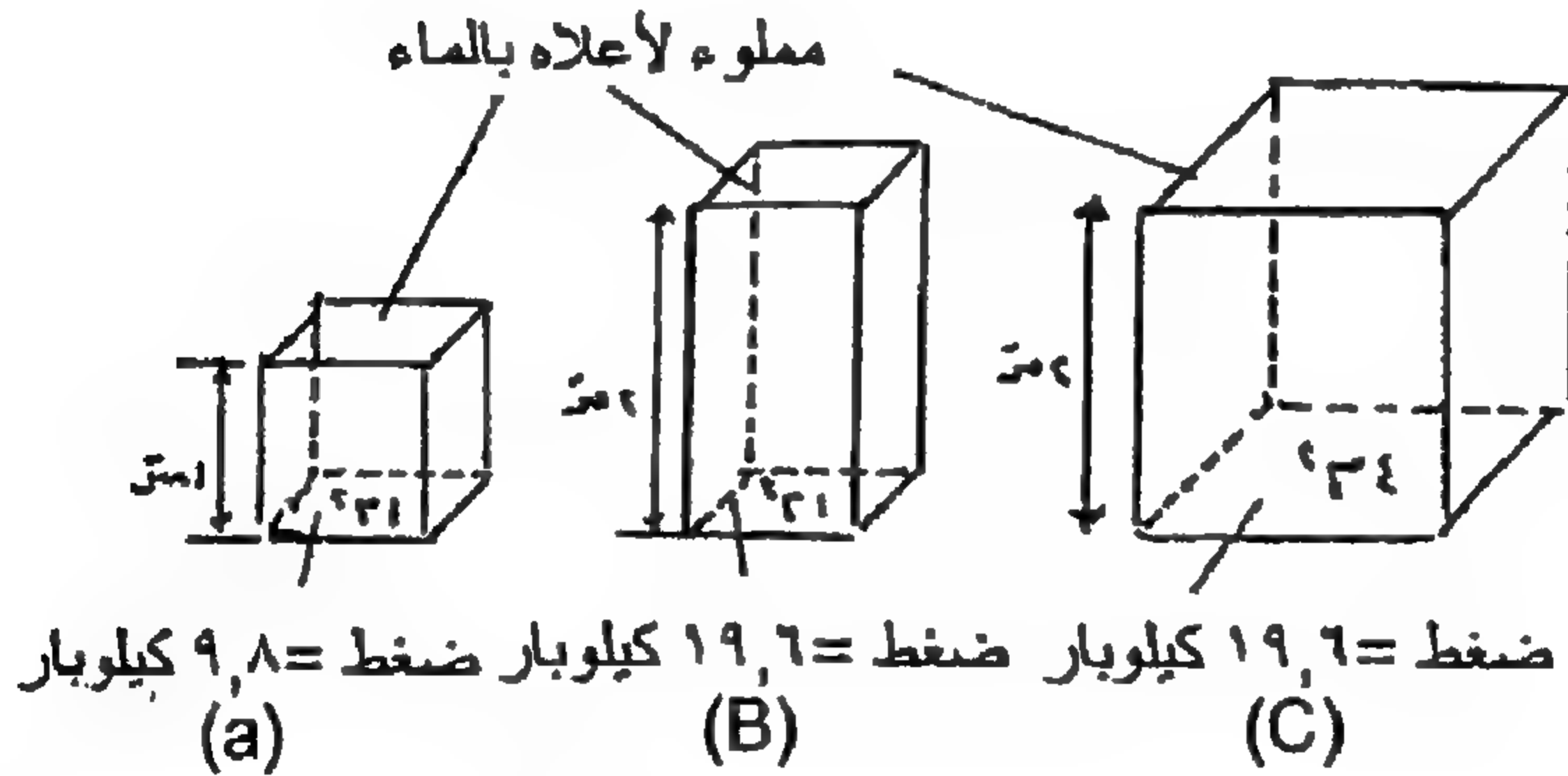
h = عمق الماء من السطح بالمتر.

في الوحدات العادية يكون قدم مكعب من الماء وزنه ٦٢,٤ رطل. لارتفاع الماء بمقدار واحد قدم على مساحة واحد قدم مربع (١٤٤ بوصة مربعة)، فإن الضغط عند القاع = ٦٢,٤ رطل / ١٤٤ بوصة مربعة = ٠,٤٣ رطل على البوصة المربعة. وعند استخدام نفس المسببات كما سبق يمكن القول أنه في حالة الماء

$$(ب) \quad P = 0.43 \times h$$

حيث P = الضغط الهيدروستاتيكي بالرطل / البوصة المربعة

h = عمق الماء من السطح بالمتر.

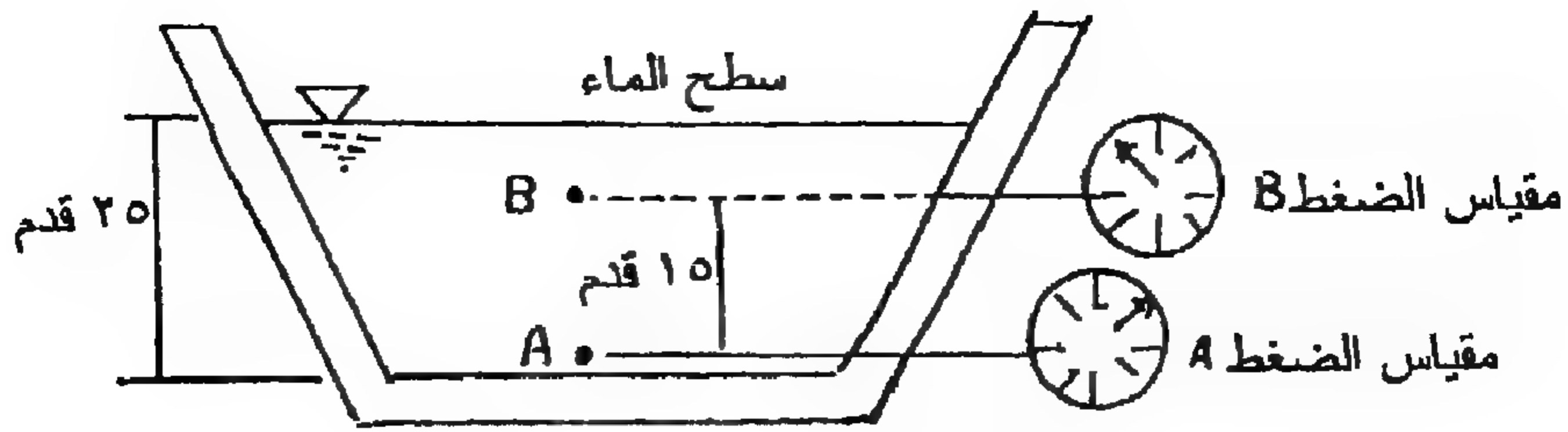


شكل (١/٣ - a) الضغط الهيدروستاتيكي عند نقطة يتوقف على عمق الماء فوقها، وليس على المساحة السطحية للماء أو حجم الماء. لاحظ أن الضغط عند قاع

الخزان (B) هو نفس الضغط عند قاع (C).

مثال :

الخزان الموضح في الشكل (١/٤) له عمق كلي ٢٥ قدم للماء فيه. ما هو الضغط الذي سوف يظهر على العداد (A) عند قاع الخزان ؟ ما هو الضغط الذي سيبيئه العداد (B) عند ارتفاع ١٥ قدم من القاع؟.



شكل (١/٤) توضيح للمثال

الحل :

باستخدام المعادلة ($P = 0.43 \times h$) يمكن حساب الضغط عند قاع الخزان كالآتي :

$$P_A = 0.43 \times 25 = 11 \text{ Psi}$$

أي أن الضغط هو ١١ رطل / البوصة المربعة تقريباً

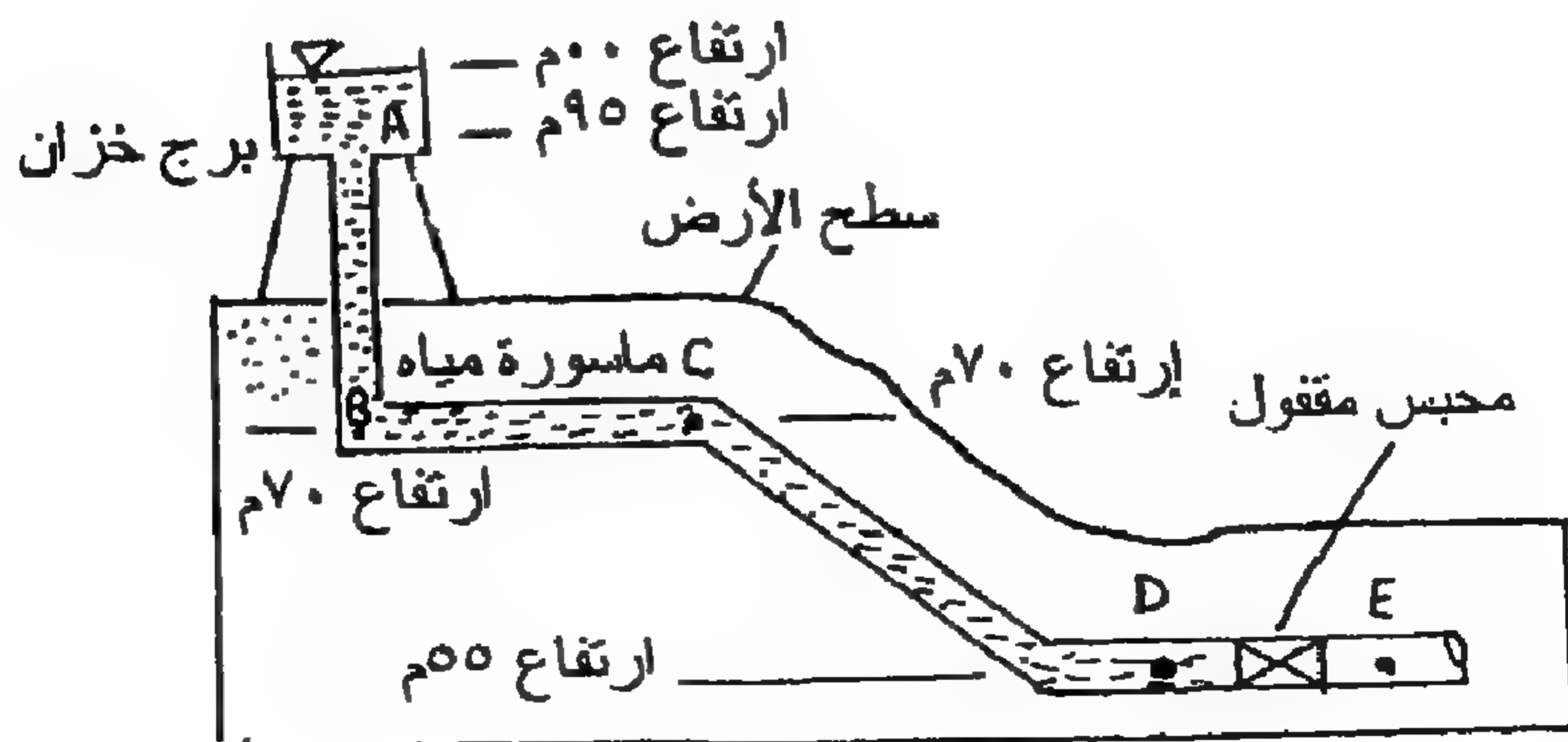
لحساب الضغط الذي سيتم تسجيله بالعداد (B)، يكون من الضروري أولاً تعيين عمق النقطة (B) أسفل سطح الماء. وهي $10 = 25 - 15$ قدم.

لا يتم استخدام ١٥ قدم فوق قاع الخزان، ويتم حساب الضغط كالآتي :

$$\text{الضغط} = 0.43 \times 10 = 4.3 \text{ رطل / البوصة المربعة.}$$

مثال :

خزان مياه علوي ومتصل بخط مواسير كما في الشكل (١/٥). أحسب الضغط الهيدروستاتيكي عند النقاط A, B, C, D, E.



شكل (١/٥) توضيح للمثال

الحل :

النقطة (A) : ارتفاع الماء فوق النقطة (A) في الحوض يساوي الفرق في الارتفاع بين سطح الماء وقاع الخزان أو $100 - 95 = 5$ متر، عندئذ يكون الضغط $= 9.8 \times 5 = 49$ كيلو باسكال.

النقطة (B) : ارتفاع الماء فوق النقطة (B) هو $100 - 70 = 30$ متر، الضغط عند هذه النقطة $= 9.8 \times 30 = 294$ كيلو باسكال.

النقطة (C) : الضغط عند النقطة C يساوي الضغط عند النقطة (B) نظراً لأن هذه النقطة عند نفس الارتفاع لذلك فإن الضغط عند $C =$ الضغط عند $B = 294$ كيلو باسكال.

النقطة (D) : ارتفاع الماء عند النقطة (D) $= 100 - 55 = 45$ متر، الضغط عند هذه النقطة $= 9.8 \times 45 = 441$ كيلو باسكال.

النقطة (E) : لا توجد معلومات كافية لتحديد الضغط عند (E) نظراً لأنها معزولة عن ما فوقها بواسطة محبس مقفول. لاحظ أن الضغط ينقل فقط في السائل المتصل، الماء عند النقطة (E) غير متصل مع الماء على الجانب الآخر من المحبس.

الضغط الرأسى : (Pressure Head)

إنه من المناسب عادة التعبير عن الضغط بارتفاع عامود الماء، بالمتر أو بالقدم بدلاً من الكيلو باسكال أو الرطل على البوصة المربعة. هذا الضغط الرأسى كما يسمى هو الارتفاع الحقيقى أو المكافئ للماء فوق نقطة ما.

فمثلاً، في حالة الخزان في الشكل (١/٤) يمكن ببساطة القول أن الضغط الرأسى عند النقطة (A) هو ٢٥ قدم من الماء بدلاً من ١١ رطل على البوصة المربعة. وبالمثل، الضغط الرأسى عند النقطة (B) هو ١٠ قدم ماء. في الشكل (٢/٥) الضغط الرأسى عند النقطة (D) هو ٤٥ متر ماء. في حالة إدخال ماسورة رأسية طويلة في الماسورة عند النقطة (D) فإن الماء سيرتفع في الماسورة ٤٥ متر، حتى ارتفاع سطح الماء الأصلي ١٠٠ متر.

في بعض الحالات، يمكن أن نعرف الضغط بالكيلو باسكال أو بالرطل على البوصة المربعة، ولكن يمكن أن تستخدم وحدات الضغط الرأسى كبديل. هذا يتم كمثال في حالة تقدير نظم توزيع المياه.

إعادة تنظيم المصطلحات في المعادلات (أ) ، (ب) فإننا نحصل بالتالى :

$$(ج) \quad h = \frac{P}{9.8} = 0.1 \times P$$

$$(د) \quad h = \frac{P}{0.43} = 2.3 \times P$$

حيث المعادلة (ج) للوحدات المترية والمعادلة (د) للوحدات بالقدم.

مثال :

محبس ضغط على خزان ماء مفتوح عند نقطة ٥ قدم فوق قاع الخزان سجل ضغط ١٣ رطل/البوصة المربع. ما هو الضغط الرأسى عند هذه النقطة؟ وما هو إجمالى عمق الماء فى الخزان.

الحل :

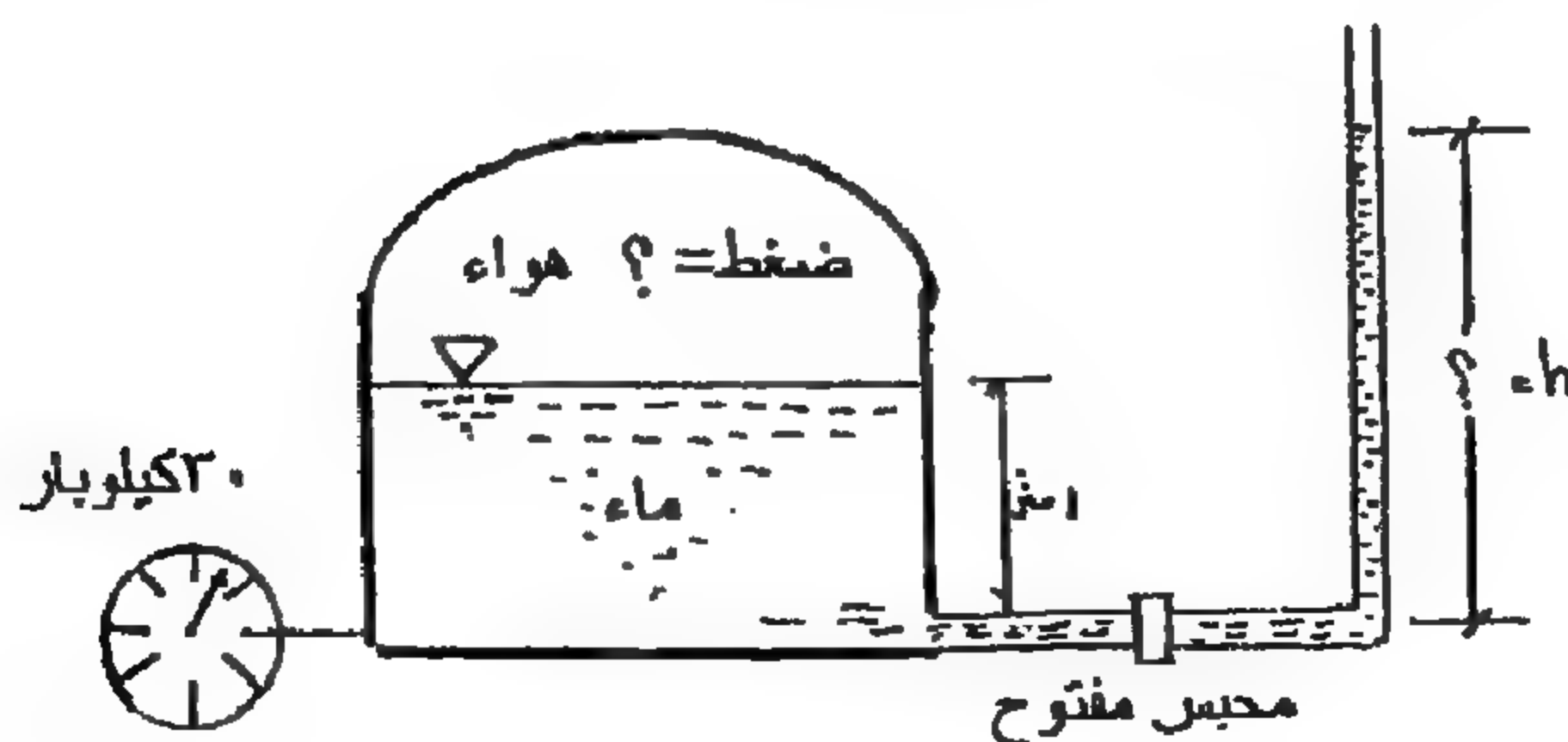
باستخدام المعادلة (د) فإننا نحصل على $h = 13 \times 2.3 = 30$ قدم

الضغط الرأسى يعادل ارتفاع الماء فوق العداد. إجمالى عمق الماء فى الخزان عندئذ

سيكون $30 + 5 = 35$ قدم.

مثال :

خزان ملحوم موضح فى الشكل (١/٦) به جيب من الهواء محجوزاً فوق الماء، الذى عمقه واحد متر. مقياس الضغط عند قاع الخزان يقرأ ٣٠ كيلو باسكال. عين (أ) الضغط الرأسى للماء عند قاع الخزان (ب) الارتفاع الذى سيصل إليه الماء فى الماسورة الرأسية فى حالة فتح المحبس (ج) الضغط فى الهواء المحجوز.



شكل (١/٦) توضيح للمثال

عندما يكون المحبس مفتوحاً، فإن الماء سيرتفع فى الأنبوبة

الرأسية إلى ارتفاع معين (h) والذى يتوقف على الضغط فى الخزان

الحل :

(أ) باستخدام المعادلة (ج) يمكن حساب الضغط الرأسى كالاتى :

$$h = 0.1 \times 30 = 3 \text{ متر}$$

لاحظ أن الضغط الرأسى أكبر من عمق الماء فى الخزان. وهذا يعنى أن الهواء فى الخزان يجب أن يكون مسبباً لضغط إضافى، مدفوعاً إلى أسفل على الماء.

(ب) الماء سيرتفع ٣ متر فى الماسورة الرأسية، الارتفاع المساوى للضغط الرأسى عند قاع الخزان.

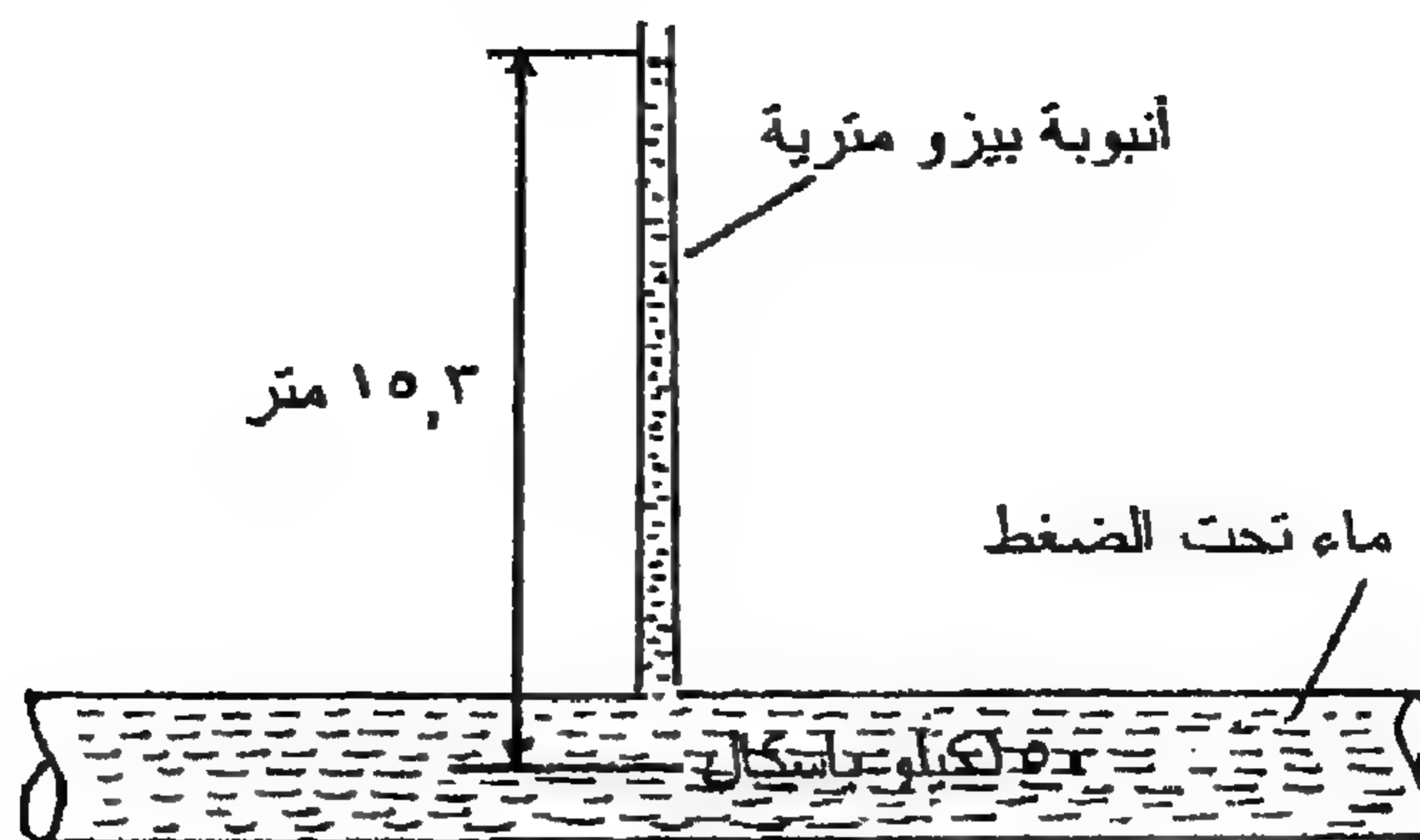
(ج) إذا كان الخزان مفتوحاً إلى الهواء الجوى، عندئذ فإن عمق الماء واحد متر سيسبب ضغط ٩,٨ كيلو باسكال فقط على العداد. الفرق أو $30 - 9.8 = 20.2$ كيلو باسكال تقريباً يجب أن يسلط بواسطة الهواء المضغوط فى الخزان المقل. الضغط فى حجم صغير من الغاز يعتبر أنه متجانس ولا يتوقف على ارتفاع أو عمق الغاز.

قياس الضغط : (Measurement of pressure)

قياس الضغط يعتبر هاماً فى عمل تجهيزات المحافظة على البيئة.

ضغط التشغيل للطلميات فى محطات معالجة المياه ومياه الصرف الصحى يجب قياسه ورصده كما أن الضغوط خلال نظام توزيع المياه يجب تحديدها لتوفير الخدمة المناسبة. عادة، قياسات الضغط تتم وتسجل آلياً بواسطة أجهزة كهروميكانيكية ولكن يكون من الضروري أحياناً للبعض قياس الضغوط فى الموقع بتجهيزات أخرى.

أبسط طريقة لتعيين الضغط هى باستخدام الأنبوبة البيزومترية (Piezometer Tube). فمثلاً، فى حالة اتصال أنبوبة ضيقة شفافة بخط مواسير تحت الضغط، كما فى الشكل (١/٧)، فإن الماء فى الماسورة سيرتفع فى الأنبوبة حتى يتساوى الضغط الرأسى بسبب عامود الماء مع الضغط فى الماسورة. بقياس ارتفاع العامود بالأمتار أو بالأقدام واستخدام الحساب البسيط بالمعادلة $(P = 9.8 \times h)$ أو $(P = 0.43 \times h)$ فإنه يمكن تعيين الضغط بالكيلو باسكال أو بالرطل على البوصة المربعة.

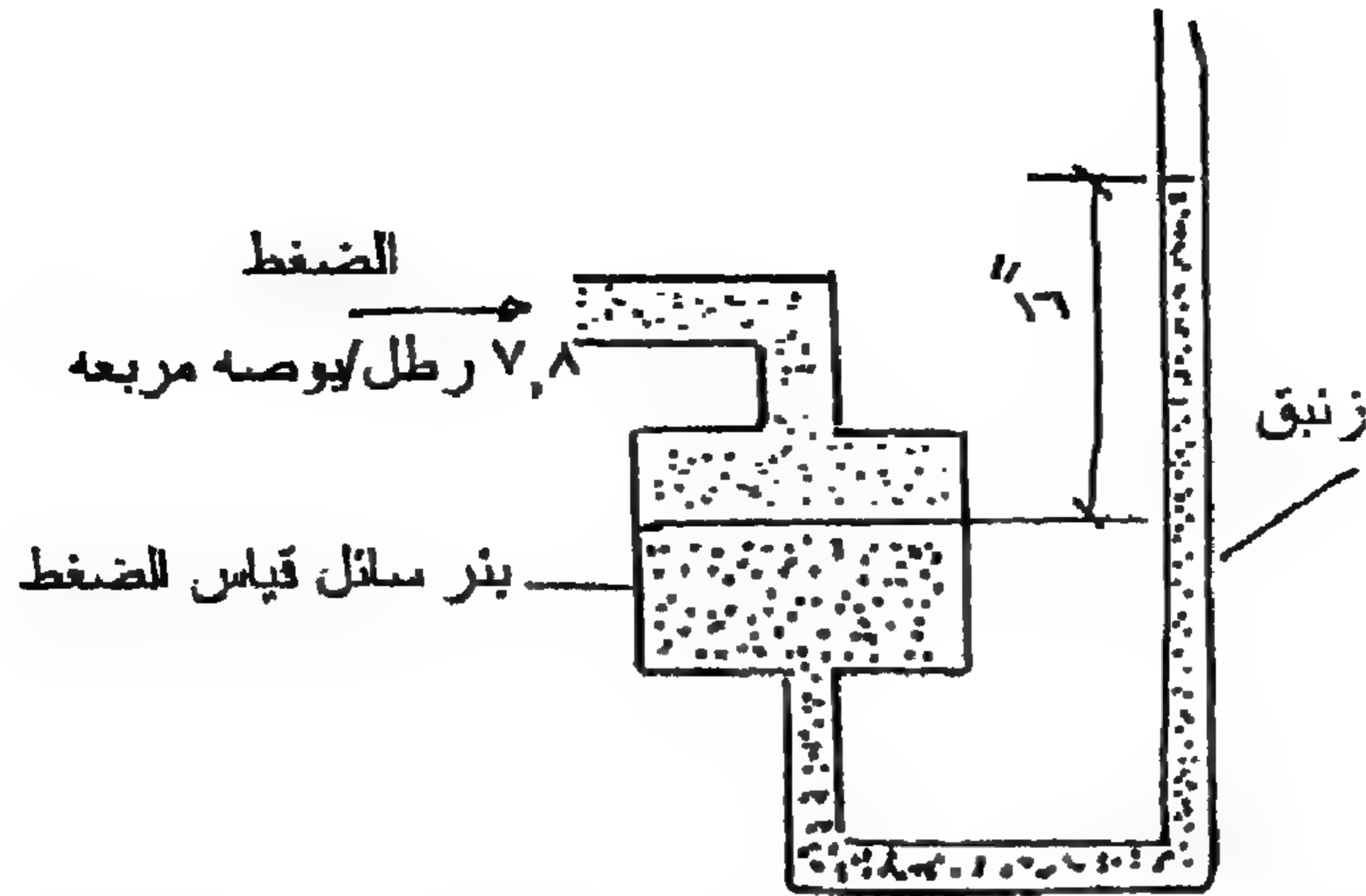


شكل (١/٧) أنبوبة بيزومترية توفر مثال بسيط لتعيين الضغط
بالقياس المباشر للضغط الرأسى المقابل.

رغم بساطتها فإن الأنبوب البيزومتري ليس عملياً فى الاستخدامات الحقلية. كما هو موضح فى الشكل (١/٧) لضغط حتى ١٥٠ كيلو باسكال (٢٢ رطل على البوصة المربعة)، فإن الأنبوب البيزومتري يمكن أن يكون حتى ارتفاع ١٥ متر (٥٠ قدم). هذه الأنبوب تستخدم أساساً فى المعامل لقياس الضغوط المنخفضة جداً. فى الفصل الثالث البند السابع استخدام السطح البيزومتري لتوضيح ضغط الماء المحجوز تحت طبقة صماء أسفل سطح الأرض.

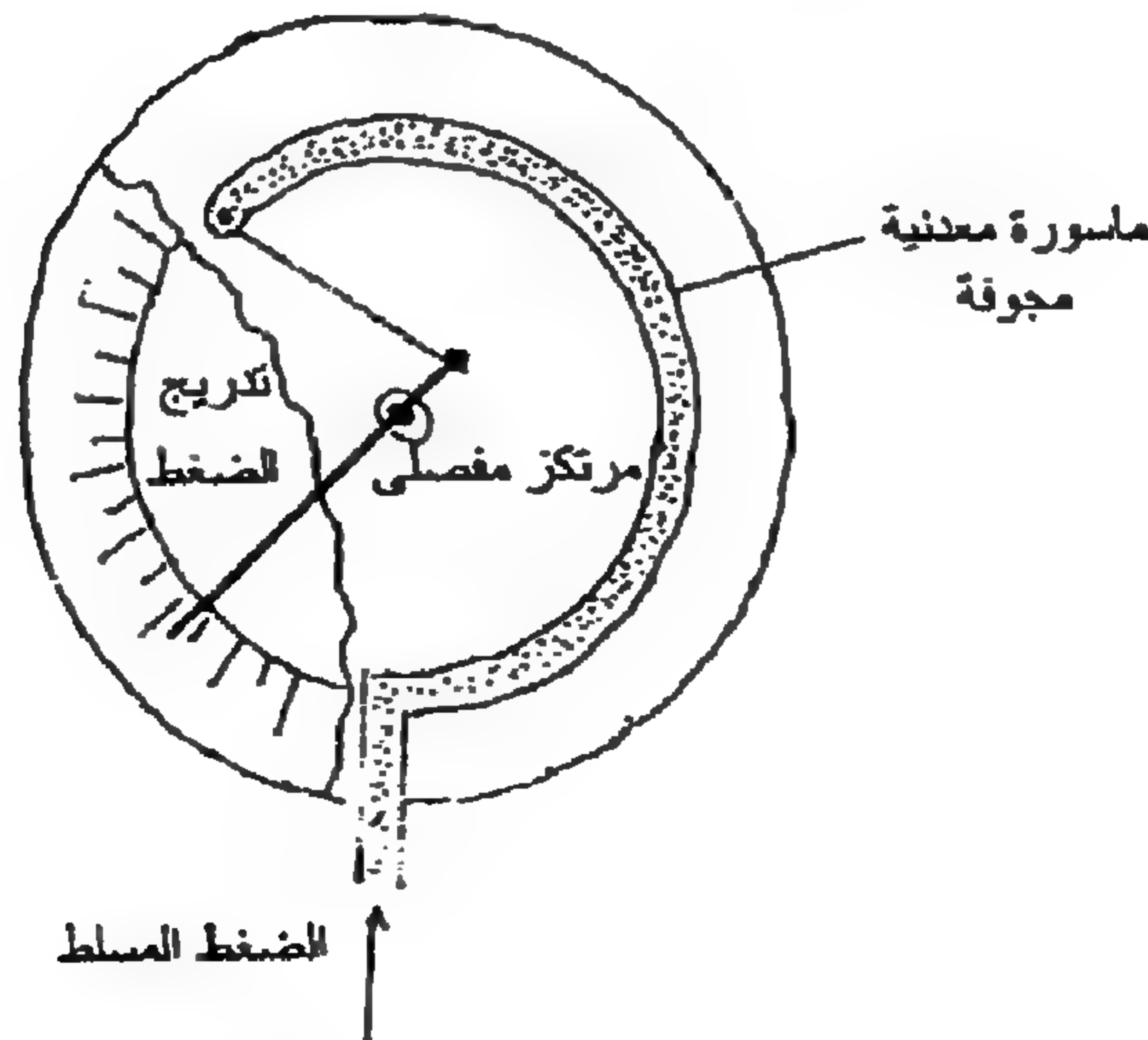
المانوميتر (Manometer) هو تجهيز عملى إلى حد ما لقياس الضغط باستخدام ارتفاع عامود سائل. هذا السائل فى أنبوبة المانوميتر يختلف عن السائل الموجود فى النظام الجارى قياسه. نوع المانوميتر باستخدام الزئبق كسائل موضح فى الشكل (٢/٨). الزئبق معدن ثقيل وهو سائل عند درجة حرارة الغرفة وهو ١٣,٦ ضعف كثافة أو وزن الماء. فى مانوميتر الزئبق يكون مكافئ الضغط الرأسى للماء فى النظام ١٣,٦ ضعف الارتفاع المقاس لعامود الزئبق. فمثلاً، إذا كان عامود الزئبق الموضح فى الشكل (١/٨) هو بارتفاع ١٦ بوصة. فإن الضغط يكون :

$$\text{الضغط} = ١٣,٦ \times ٠,٤٣ \times (١٢/١٦) \text{ قدم} = ٧,٨ \text{ رطل/البوصة المربعة}$$



شكل (١/٨) جهاز قياس الضغط بطريقة بئر الزئبق يستخدم أكثر من الأنبوبة البيزومترية لقياس الضغط في معظم الأنظمة الهيدروليكية

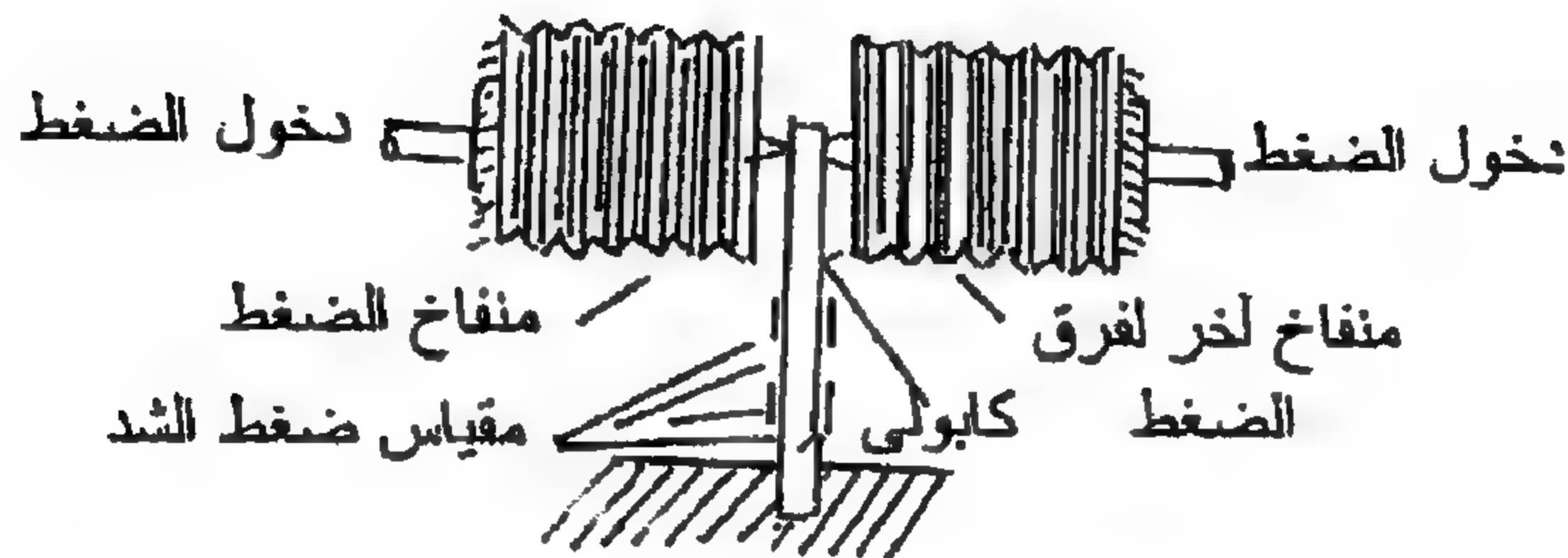
أحد التجهيزات المستخدمة عادة لقياس الضغط هو مقياس أنبوبة بوردون (Bourdon Tube Gage). وهذه تعمل بمبدأ أن أنبوبة المعدن المستوية المجوفة، والمنحنية في شكل حلزون أو قوس دائري، تميل إلى أن تنفرد مع تسليط الضغط داخل الأنبوبة. مع الانفراد للأنبوب، فإن المؤشر الملتصق بها يبين الضغط على تدريج معاير. وهذا موضح في الشكل (١/٩). أنابيب بوردون معايرة لقراءة الضغط أعلى من الضغط الجوي والذي يؤخذ صفر رطل البوصة المربعة (Gage Pressure).



شكل (١/٩) شكل مبسط لجهاز قياس الضغط بطريقة بوردون.

الأنبوبة المفرغة الملتوية تنفرد مع تسليط الضغط، حيث يتحرك مؤشر على تدريج الضغط.

ناقلات الضغط (Pressure Transducers)، هي تجهيزات تستشعر التغيرات في الضغط وتحوله إلى علامات كهربية أو هوائية، تنشأ في محطات معالجة المياه ومياه الصرف الصحي وفي محطات الطلمبات. وهي تنقل الإشارة إلى لوحة تحكم مركزية، حيث يمكن رؤية قراءة الضغط. نموذج لهذا الجهاز موضح في الشكل (١/١٠). في هذا التجهيز التغير في الضغط يسبب انحناء ذراع الكابولي الرأسي. الإزاحة تغير مقاومة السلك الملتصق بعدادات الإجهاد (Strain Gages)، حيث تنقل إشارة تتناسب مع التغيرات في الضغط.



شكل (١/١٠) مثال لناقل الضغط الذي ينقل الضغط إلى إشارة كهربية مكافئة

٢- التدفق (Flow)

معظم التطبيقات الهيدروليكية في تكنولوجيا البيئة تتضمن حركة الماء - في المواسير تحت الضغط أو في قنوات مفتوحة تحت قوى الجاذبية. حجم الماء المار عبر أي نقطة في الماسورة أو القناة في وحدة الزمن يسمى معدل التدفق أو التصرف.

في النظام المتري (SI) وحدة معدل التدفق هي المتر المكعب في الثانية. كذلك يستخدم التعبير لتر/ الثانية خاصة في معدلات التدفق الصغيرة. تعبيرات أخرى للنظام المتري لمعدل التدفق هو مليون لتر في اليوم (١ متر مكعب = ١٠٠٠ لتر)، متر مكعب في اليوم.

في النظام الأمريكي، يكون معدل التدفق بالقدم المكعب في الثانية، الجالون في الدقيقة، أو مليون جالون في اليوم. للتقريب وللتحويل للتذكرة هو أن مليون جالون في اليوم = ١,٥٥ قدم مكعب في الثانية = ٧٠٠ جالون في اليوم. كذلك مليون جالون في اليوم = ٣,٧٩ مليون لتر في اليوم = ٤٤ لتر في الثانية.

مثال :

حول معدل التدفق ٥٠ متر مكعب في الثانية إلى القيمة المكافئة باللتر في الثانية ومليون لتر في اليوم.

الحل :

٥٠ متر مكعب في الثانية $\times 1000$ لتر / متر مكعب = ٥٠٠٠٠ لتر في الثانية
 ٥٠٠٠٠ لتر في الثانية $\times 3600$ ثانية في الساعة $\times 24$ ساعة في اليوم \times مليون
 لتر / 10^6 لتر = ٤٣٢٠ مليون لتر في اليوم.

مثال :

حول معدل التدفق ٥٠ قدم مكعب في الثانية إلى القيمة المكافئة بالجالون في الدقيقة
 والمليون جالون في اليوم.

الحل :

باستخدام التحويل ١ قدم مكعب = ٧,٤٨ جالون
 ٥٠ قدم مكعب في الثانية $\times 7,48$ جالون / القدم المكعب $\times 60$ ثانية في الدقيقة.
 = ٢٢٤٤٠ جالون في الدقيقة.
 و ٢٢٤٤٠ جالون في الدقيقة $\times 60$ دقيقة في الساعة $\times 24$ ساعة في اليوم.
 = ٣٢,٣ $\times 10^6$ جالون في اليوم أو ٣٢ مليون جالون في اليوم.

حل بديل :

باستخدام التحويل التقريبي مع النسب التقريبية نحصل على :

$$\frac{700}{1,00} \times 50 = \text{التدفق} \quad \frac{700 \text{ جالون في الدقيقة}}{1,00 \text{ قدم مكعب في الثانية}} = \frac{\text{التدفق}}{50 \text{ متر مكعب في الثانية}}$$

$$= 22580 \text{ جالون في الدقيقة.}$$

لأقرب ٥٠٠ جالون في الدقيقة للأغراض العملية يكون مثل الإجابة الأولى أو
 ٢٢٥٠٠ جالون في الدقيقة، وبالنسبة لمليون جالون في اليوم نحصل على :

$$\frac{1}{1,00} \times 50 = \text{التدفق} \quad \frac{\text{مليون جالون في الدقيقة}}{1,00 \text{ قدم مكعب في الثانية}} = \frac{\text{التدفق}}{50 \text{ متر مكعب في الثانية}}$$

$$= 32 \text{ مليون جالون في اليوم.}$$

يوجد فرق بين معدل التدفق وسرعة التدفق. معدل التدفق (Flow Rate) يمثل الحجم في وحدة الزمن، بينما سرعة التدفق (Flow Velocity) تمثل المسافة في وحدة الزمن. توجد علاقة بين معدل التدفق، سرعة التدفق، مساحة التدفق (Flow Area) يعبر عنها بالمعادلة التالية :

$$Q = A \times V$$

حيث Q = معدل التدفق أو التصريف.

A = مساحة مقطع التدفق.

V = سرعة التدفق.

في الوحدات المترية يعبر عن (A) بالمتر المربع والسرعة بالمتر في الثانية، حيث تكون وحدات (Q) متر مكعب في الثانية. والوحدات العادية الأمريكية يعبر عنها (V) بالقدم في الثانية لذلك تكون (A) قدم مربع ووحدات (Q) تكون قدم مكعب في الثانية. المثال الآتي يوضح معادلة التدفق الأساسية : $Q = A \times V$.
مثال :

مياه تتدفق بمتوسط سرعة ٤ قدم في الثانية في مصرف للأمطار. الماسورة تتدفق ممثلة بقطر ١٨ بوصة، احسب معدل التدفق بالقدم في الثانية.
الحل :

حيث أن الماسورة تتدفق ممثلة، فإن مساحة التدفق هي نفسها مساحة مقطع الماسورة. معادلة مساحة الدائرة هي $A = \frac{\pi D^2}{4}$ ، حيث D هو القطر، π يمكن تقريبها لتكون ٣,١٤.

المساحة يجب أن تقدر بالقدم المربع. أو لا يتم تحويل القطر D من البوصات إلى القدم.

$$18 \text{ بوصة} \times 1 \text{ قدم} / 12 \text{ بوصة} = 1.5 \text{ قدم.}$$

الآن لحساب مساحة التدفق .

$$A = \frac{\pi \times 1.5^2}{4} = 1.77 \text{ ft}^2$$

$$Q = A \times V$$

∴ معدل التدفق $Q = 1,77 \times 4$ قدم في الثانية = $7,1$ قدم مكعب في الثانية.
مثال :

عين القطر اللازم لماسورة لتحمل تصرف 50 مليون لتر في اليوم من الماء بسرعة 3 متر في الثانية.

الحل :

يمكن تعيين قطر الماسورة (D) من مساحة التدفق المطلوبة (A). نظراً لأن $A = Q/V$ في هذه المسألة كلا من Q ، V معلومين، ولكن يلزم استخدام الوحدات المناسبة لتكون أبعاد المعادلة صحيحة. أولاً، يتم تحويل معدل التدفق 50 مليون لتر في اليوم إلى القيمة المكافئة لتكون متر مكعب في الثانية :

$$Q = 50 \times 10^6 \text{ لتر في اليوم} \times 1 \text{ يوم} / 24 \text{ ساعة} \times 1 \text{ ساعة} / 3600 \text{ ثانية}.$$

$$\times 1 \text{ متر مكعب} / 1000 \text{ لتر} = 0,58 \text{ متر مكعب في الثانية}.$$

$$A = \frac{Q}{V}$$

$$\text{عندئذ } A = \left[\frac{0,58 \text{ متر مكعب في الثانية}}{3 \text{ متر في الثانية}} \right] = 0,19 \text{ متر مربع}$$

$$A = \pi D^2/4 \text{ نظراً لأن}$$

$$D = \left[\frac{Ax4}{\pi} \right]^{\frac{1}{2}} \therefore$$

$$\therefore \text{ القطر} = \left(\frac{0,19 \times 4}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,49 \text{ متر}$$

$$\text{أى أن القطر} = 0,49 \text{ متر} \times 1000 \text{ ملي} / \text{لتر} = 490 \text{ مليمتراً}.$$

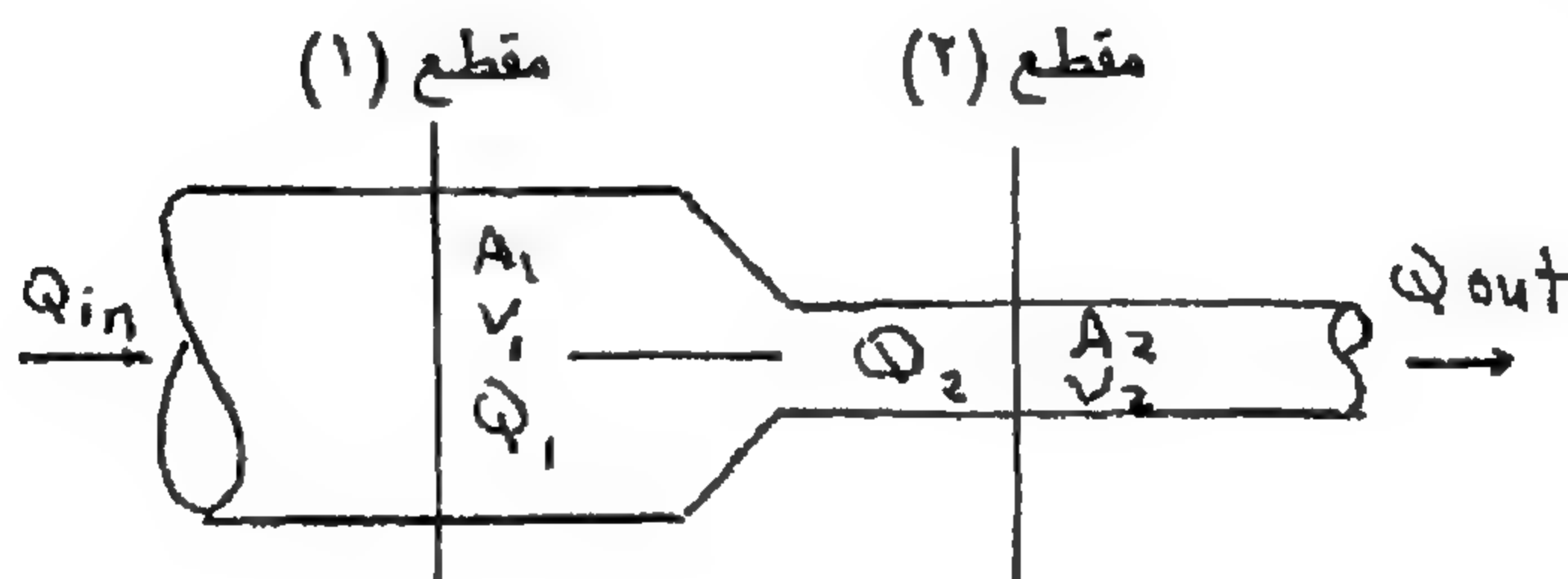
تواصل التدفق بغير انقطاع : (Continuity of Flow)

الماء يعتبر سائل غير قابل للانضغاط. بمعنى أن الحجم لا يتغير بدرجة ملحوظة مع تغير الضغط. لذلك، بالنسبة للتصرف الثابت في ماسورة، فإن معدل التدفق (Q) يجب أن يكون ثابتاً عند أى مقطع للماسورة، ذلك مهما تغيرت مساحة التدفق أو سرعة التدفق.

بالإشارة إلى الشكل (١/١١) يمكن القول أن معدل التدفق (Q_1) عند المقطع (١) يجب أن يساوى معدل التدفق (Q_2) عند المقطع (٢)، نظراً لأن الماء لم يضاف ولم يزل من الماسورة بين هذين المقطعين. ولكن مرور التدفق تقلص عند المقطع (٢) للماسورة. المنطق يقول يجب أن يحدث شئ للماء بسبب نقص مساحة التدفق.

أحد الأشياء التي تحدث هي أن سرعة التدفق تزداد مع تحرك الماء من المقطع (١) إلى المقطع (٢) للماسورة. حيث أن (Q) ثابتة، $Q = A \times V$ ، وعند صغر A فإن V يجب أن تزداد، حيث أن $A \times V$ يجب دائماً أن يساوى Q . وبالعكس في حالة زيادة مساحة التدفق، فإن السرعة يجب أن تقل.

هذا المبدأ يعرف عادة بالتدفق المتصل بغير انقطاع (Continuity of Flow). حاصل ضرب المساحة في السرعة يكون ثابتاً في أى مكان في الماسورة. المثال الآتى يوضح طريق التدفق المتواصل.



شكل (١/١١) للسائل الغير منضغط مثل الماء أو مياه الصرف، فإن معدل التدفق الحجمى Q يكون ثابتاً عند أى مقطع الماسورة. نظراً لأن $Q = V \times A$ عندما تختنق مساحة التدفق، فإن السرعة V يجب أن تزداد.

مثال :

فى خط المواسير فى الشكل (١/١١)، المساحة عند المقطع (١) هي ٠,٥ متر مربع والمساحة عند المقطع (٢) هي ٠,٢٥ متر مربع. بالنسبة لمعدل تصرف $Q = ١٠٠٠$ لتر في الثانية. عين السرعة عند المقطع (١) والمقطع (٢).

الحل :

أولاً حول ١٠٠٠ لتر في الثانية إلى واحد متر مكعب في الثانية باستخدام في المعادلة.

$$Q = A_1 V_1 = A_2 \times V_2$$

$$V_2 \times ٠,٢٥ = V_1 \times ٠,٥ = \text{أي ١ متر مكعب/ الثانية}$$

واحد متر مكعب/ الثانية

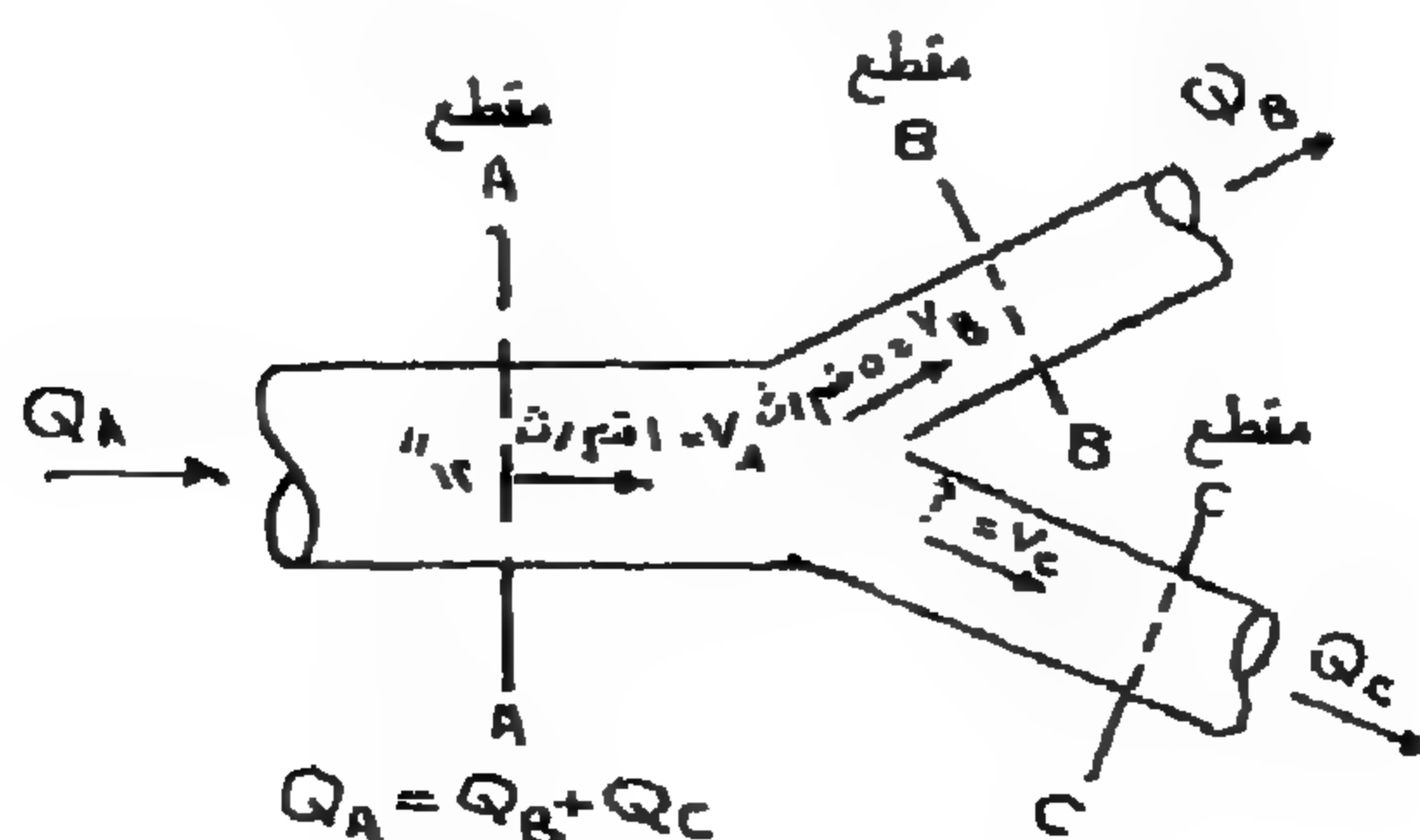
$$\therefore V_1 = \frac{\text{نصف متر مكعب في الثانية}}{٢ \text{ متر في الثانية}}$$

$$V_2 = \frac{١ \text{ م}^٣ / \text{ث}}{٢ \text{ م} \times ٠,٢٥} = ٤ \text{ متر / الثانية}$$

لاحظ أنه بسبب نقص المساحة بما يعادل النصف، فإن السرعة زادت بما يعادل الضعف. السرعة تتناسب عكسياً مع المساحة، كذلك السرعة تتناسب عكسياً مع الجذر التربيعي للقطر. إذا كان قطر الماسورة نقص بمعامل (٣) مثلاً، فإن السرعة تزداد بمعامل ٣ أو ٩.

مثال :

في حالة مقطع الماسورة المتشعب الموضح في الشكل (١/١٢) احسب سرعة التدفق عند المقطع (C) في فرع الماسورة بقطر ٦ بوصة. السرعة في الفرع ١٢ بوصة عند المقطع (A) هي واحداً قدم في الثانية والسرعة عند المقطع (B) في الفرع ٤ بوصة هي ٥ قدم في الثانية.



شكل (١/١٢) توضيح للمثال

الحل :

نظراً لأن الماء غير قابل للانضغاط، فإن الحجم الكلي للتدفق الداخل إلى النظام في الفرع (A) يجب أن يساوي الحجم الكلي الذي يخرج من النظام في الفرعان (B) و (C). وهذا يمكن توضيحه رياضياً بالمعادلة.

$$Q_A = Q_B + Q_C$$

أولاً، احسب مساحات مقطع التدفق باستخدام وحدة القدم للقطر.

$$A_A = \frac{\pi (1 \text{ قدم})^2}{4} = 0.785 \text{ قدم مربع}$$

$$A_B = \frac{\pi (0.5 \text{ قدم})^2}{4} = 0.196 \text{ قدم مربع}$$

$$A_C = \frac{\pi (0.5 \text{ قدم})^2}{4} = 0.196 \text{ قدم مربع}$$

والآن يتم حساب معدلات التدفق في الفرعان (A) و (B) :

$$Q_A = V_A \times A_A = 1 \text{ قدم / الثانية} \times 0.785 \text{ قدم مربع} = 0.785 \text{ قدم مكعب في الثانية}$$

$$Q_B = V_B \times A_B = 0.5 \text{ قدم / الثانية} \times 0.196 \text{ قدم مربع} = 0.098 \text{ قدم مكعب في الثانية}$$

$$Q_C = V_C \times A_C = 1.8 \text{ قدم / الثانية} \times 0.196 \text{ قدم مربع} = 0.353 \text{ قدم مكعب في الثانية}$$

$$Q_C = 0.785 - 0.098 = 0.687 \text{ قدم مكعب في الثانية}$$

معدل التدفق في الفرع (C) هو الفرق بين ذلك في الفرع (A) والفرع (B) أو

$$Q_C = Q_A - Q_B$$

$$\therefore Q_C = 0.785 \text{ قدم مكعب في الثانية} - 0.098 \text{ قدم مكعب في الثانية} = 0.687 \text{ قدم مكعب في الثانية}$$

والسرعة V_C هي :

$$V_C = \frac{Q_C}{A_C} = \frac{0.687}{0.196} = 3.5 \text{ قدم / الثانية}$$

بقاء الطاقة : (Conservation of Energy)

في المبادئ الأساسية للعلوم الطبيعية أن الطاقة لا يمكن خلقها أو تدميرها، ولكن يمكن تحويلها من شكل إلى آخر. في نظام مغلق معين، تكون الطاقة الكلية ثابتة، وهذا هو قانون بقاء الطاقة. عند الاستخدام في مسائل تشتمل تدفق الماء، ثبت أنه مبدأ مفيد جداً.

في النظم الهيدروليكية، توجد ثلاثة أنواع من الطاقة الميكانيكية وهي الطاقة الكامنة (Potential) بسبب الارتفاع والطاقة الكامنة بسبب الضغط، والطاقة الحركية (Kinetic) بسبب السرعة. الطاقة لها وحدات قدم - أرطال (Foot - Pounds) أو نيوتن - متر (N-m) من المناسب تقدير الطاقة الهيدروليكية بالنسبة للطاقة الرأسية (Energy Head) في شكل أمتار أو أقدام للماء. وهذا يعادل قدم - أرطال لكل رطل من الماء (ft-lb/lb=ft) أو نيوتن أمتار لكل نيوتن للماء (N-m/N=m).

في النظام الهيدروليكي عندئذ، يوجد ارتفاع، ضغط رأسي، سرعة رأسية (Velocity Head). كل الطاقة الرأسية في النظام الهيدروليكي تساوي مجموع هذه الطاقات الرأسية. وهذا يمكن التعبير عنه رياضياً كالاتي :

$$E = Z + \frac{P}{w} + \frac{V^2}{2g}$$

طاقة السرعة	طاقة الضغط	ضغط	إجمالي طاقة
		الارتفاع	الضغط

حيث :

E = إجمالي طاقة الضغط.

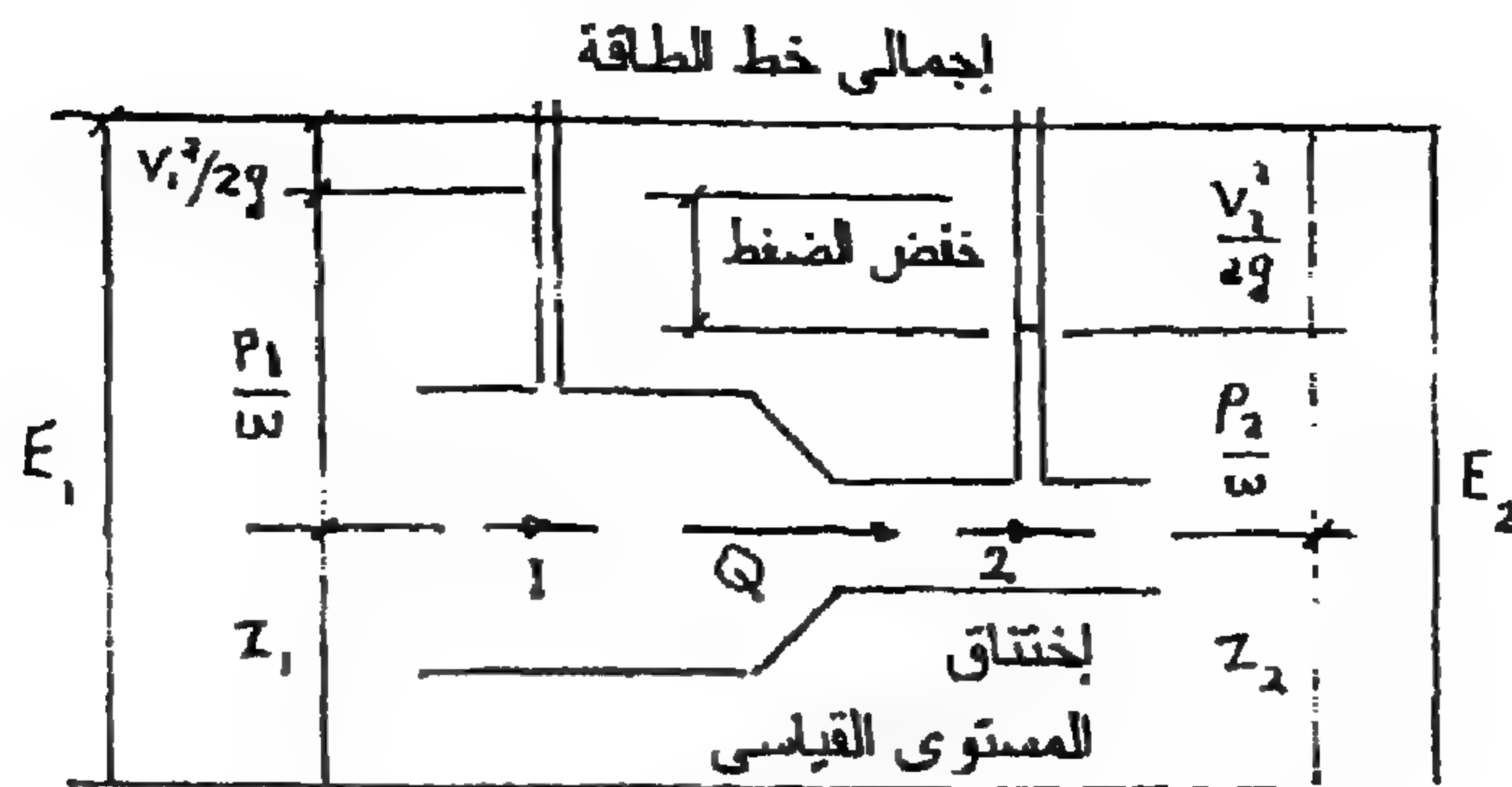
Z = ارتفاع الماء فوق مستوى معين متر (قدم).

P = الضغط كيلو باسكال أو رطل/البوصة المربعة.

W = وحدة الوزن للماء، ٩,٨ كيلو نيوتن/متر مربع (٦٢,٤ رطل/قدم مربع)

V = سرعة التدفق متر / الثانية (قدم/ الثانية).

G = عجلة الجاذبية ٩,٨ متر/ ثانية تربيع أي (٣٢,٢ قدم/ ثانية^٢).



شكل (١/١٣) حيث أن السرعة والطاقة الحركية للمياه التي تتدفق

في مقطع الاختناق يجب أن تزداد، فإن طاقة الوضع يجب أن تنخفض

(من قانون الحفاظ على الطاقة) يلاحظ هذا كاتخفاض في الضغط في الاختناق.

في حالة مقطع الاختناق للماسورة في الشكل (١/١٣) من قانون بقاء الطاقة، إجمالي الطاقة الكلية في المقطع I، E_1 يجب أن تساوي إجمالي الطاقة الكلية عند المقطع ٢، E_2 . يوضح $E_2 = E_1$ واستخدام المعادلة السابقة فإننا نحصل على :

$$Z_1 + \frac{P_1}{w} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{w} + \frac{V_2^2}{2g}$$

هذه المعادلة تسمى معادلة بيرنولي (Bernolli's Equation) وهي من أهم المعادلات في الهيدروليكا، كما هو موضح، فهي تطبق للسوائل المثالية حيث اللزوجة والفقد في الطاقة بسبب الاحتكاك يكون مهملاً.

بالنسبة لما هو موضح في الشكل (٢/١٣) يمكن تبسيط معادلة برنولي لأن المواسير أفقية وأن $Z_1 = Z_2$. حيث أنهما متساويان، فإن ضغط الارتفاع يلغى من الجانبين، تاركاً :

$$\frac{P_1}{w} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{w} + \frac{V_2^2}{2g}$$

والآن لنرى ماذا سيحدث عند مرور الماء خلال المقطع المختق للماسورة، المقطع (٢). من تواصل التدفق، السرعة عند المقطع (٢) يجب أن تكون أكبر من السرعة عند المقطع (١) بسبب صغر مساحة التدفق في المقطع (٢). هذا يعني أن طاقة السرعة في النظام تزداد مع تدفق الماء نحو المقطع المختق. ولكن الطاقة الكلية يجب أن تظل ثابتة. لحدوث ذلك، فإن طاقة الضغط وبالتالي الضغط يجب أن ينخفض. في الواقع فإن طاقة

الضغط تحولت إلى طاقة حركية في الاختناق. حقيقة أن الضغط في الماسورة الضيقة أقل من الضغط في الماسورة الأكبر يعارض ما يستشعره كثيرون. ولكن طبقا لتواصل التدفق وبقاء الطاقة يكون ذلك واقع. كما سيتم مناقشته فيما بعد أن حقيقة وجود اختلاف في الضغط سيسمح بقياس معدل التدفق في الماسورة المغلقة.

مثال :

بالنسبة لما هو موضح في الشكل (٢/١٣)، القطر عند المقطع (١) هو ١٢ بوصة والقطر عند المقطع (٢) هو ٤ بوصة. معدل التدفق خلال الماسورة هو ٢ قدم في الثانية والضغط عند المقطع (١) هو ١٠٠ رطل على البوصة المربعة.

ما هو الضغط في الاختناق عند المقطع (٢)؟

الحل :

أولا احسب مساحة التدفق عند كل مقطع كالآتي :

$$A_1 = \frac{\pi (1 \text{ قدم})^2}{4} = 0.785 \text{ قدم مربع}$$

$$A_2 = \frac{\pi (0.333 \text{ قدم})^2}{4} = 0.087 \text{ قدم مربع}$$

$$V \times A = Q$$

$$\frac{Q}{A} = A \times V = Q \text{ الآن من المعادلة}$$

$$V_1 = \frac{20 \text{ قدم مكعب}}{0.785 \text{ قدم مربع}} = 25.5 \text{ قدم في الثانية}$$

$$V_2 = \frac{2}{0.087} = 23 \text{ قدم في الثانية}$$

$$\frac{P_1}{w} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{w} + \frac{V_2^2}{2g} \text{ بتطبيق المعادلة}$$

$$\frac{100 \times 144}{62.4} + \frac{(2.5)^2}{2 \times 32.2} = \frac{P_2 \times 144}{62.4} + \frac{(23)^2}{2 \times 32.2}$$

لاحظ أن الضغط يتم ضربه في ١٤٤ بوصة مربعة / القدم المربع للتحويل من رطل/ البوصة المربعة إلى رطل/ القدم المربع ليتطابق مع وحدات (W)، طاقة الضغط تكون بالقدم نحصل على :

$$231 + 0.1 = 2.3 P_2 + 8.2$$

$$\therefore P_2 = \frac{231.1 - 8.2}{2.3} = \frac{222.9}{2.3} = 97 \text{ psi}$$

أي أن الضغط عند الاختناق في المقطع (٢) هو ٩٧،٠ رطل/البوصة المربعة.

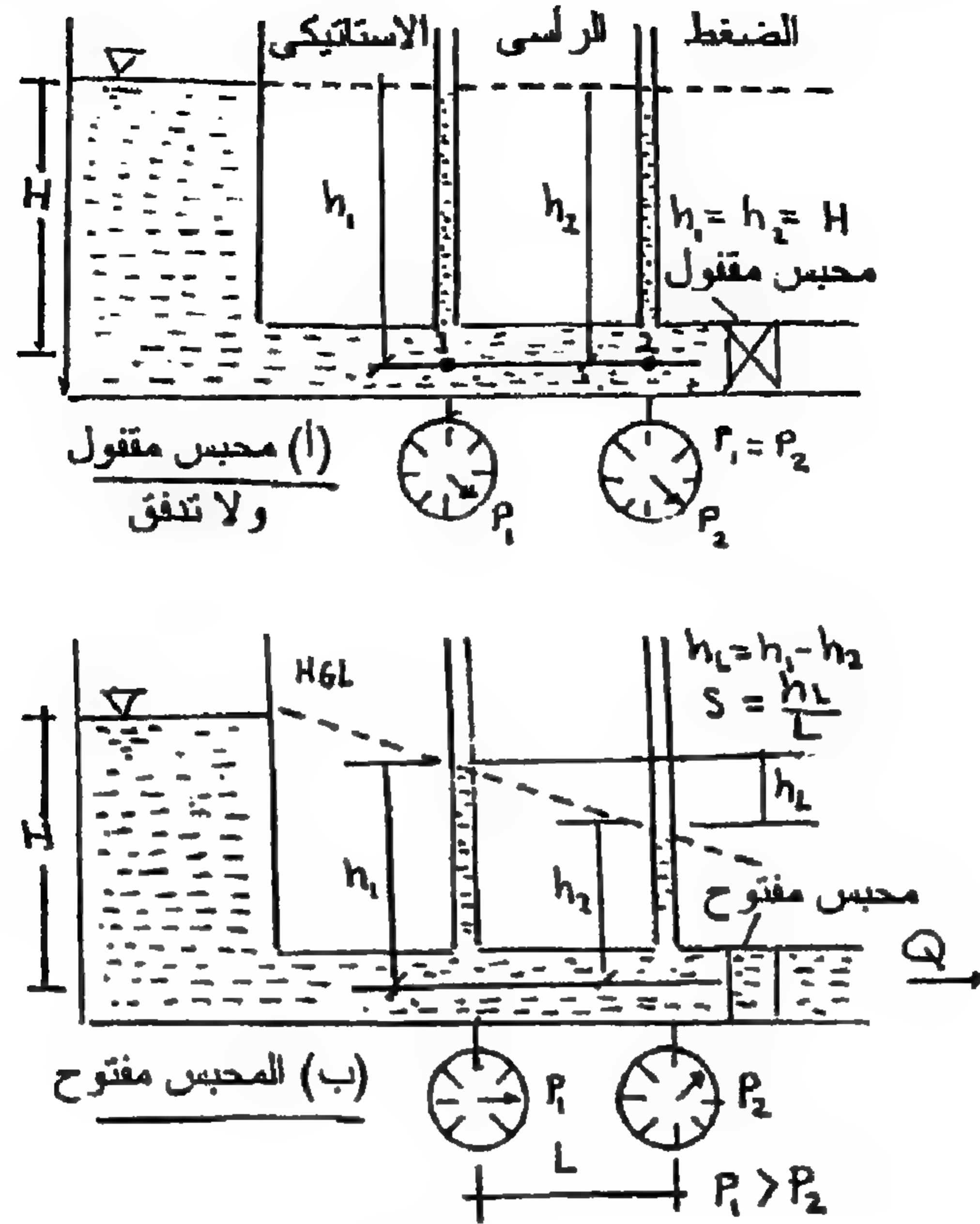
التدفق في المواسير تحت الضغط (Flow In Pipes Under Pressure)

عند تدفق المياه في خط المواسير، فإنه يوجد احتكاك بين الماء المتدفق وجدار الماسورة، وبين طبقات الماء المتحركة بسرعات مختلفة في الماسورة. هذا بسبب لزوجة الماء. سرعة التدفق عند جدار الماسورة هي حقيقة صفر وأقصى سرعة تكون على طول محور الماسورة. عند استخدام سرعة التدفق فهذا يعنى السرعة المتوسطة خلال مقطع التدفق.

مقاومة الاحتكاك للتدفق يسبب فقد في الطاقة في المنظومة. هذا الفقد في الطاقة واضح كانهخفاض مستمر في الضغط على طول مسار التدفق.

عادة يكون من الضروري القدرة على حساب الانخفاض المتوقع في الضغط في منظومة ما أو القدرة على تصميم منظومة جديدة مع توصيف أقصى فقد في الضغط.

في الشكل (١٤/١-أ) يوضح مقطع مستقيم من الماسورة مملوء بالماء تحت الضغط متصل بخزان. لا يوجد تدفق في المنظومة وبالتالي لا يوجد فقد في الضغط عندما يكون المحبس في الماسورة مغلقاً. يمكن ملاحظة أن طاقة الضغط عند المقطع (١) تساوى طاقة الضغط عند المقطع (٢). عند فتح المحبس، يبدأ التدفق وبالتالي يقابله فقد في الطاقة بسبب الاحتكاك. هذا الفقد يمكن رؤيته بقياس الضغوط على طول خط المواسير. في الشكل (١٤/١-ب) الفرق في طاقة الضغط بين المقطع (١) والمقطع (٢) يمكن رؤيتها في الأنابيب البيزومترية المتصلة بالماسورة.



هو يمثل الضغط الرأسي (HGL) شكل (١/١٤) خط الانحدار الهيدروليكي

فوق خط المنتصف للماسورة، ميله إلى أسفل في اتجاه التدفق يبين

الفقد في الضغط بسبب الاحتكاك.

الخط الموصل بين سطح الماء في الخزان مع مناسيب المياه عند المقاطع (١)، (٢) يبين الشكل العام للفقد المستمر في الضغط على طول خط المواسير. وهذا ما يسمى بخط الانحدار الهيدروليكي (HGL) (Hydraulic Grade Line) للمنظومة. وهو مخطط مفيد جداً ويساعد في تحليل مشاكل التدفق في الماسورة.

خط الانحدار الهيدروليكي هو مخطط لجهد الضغط على طول الماسورة، يتم توقيعه فوق محور الماسورة. أنه ليس من الضروري رسم الأنابيب البيزومترية كما في الشكل (١/١٤-ب). خط الانحدار الهيدروليكي يكون دائماً مائلاً إلى أسفل في اتجاه التدفق باستثناء إضافة طاقة للمنظومة بواسطة مضخة. الهبوط الرأسى في خط الانحدار الهيدروليكي بين مقطعين مفصولين بمسافة (L) يسمى الفقد في الطاقة (Head Loss - h_L)

النسبة بين الفقد في الطاقة (h_f) إلى (L) هو الميل (S) لخط الانحدار الهيدروليكي أو التدرج (Hydraulic Gradient) في شكل معادلة ($S = h_f/L$).

خط التدرج الهيدروليكي دائماً يمر خلال سطح ماء حر لأي خزان ماء في المنظومة، نظراً لأن ذلك الارتفاع يعادل طاقة الضغط (Pressure Head) عند تلك النقطة. كلما زاد معدل التدفق في خط مواسير، زاد معدل الفقد في الضغط، وزاد الميل لخط الانحدار الهيدروليكي.

معادلة هازن - وليامز : (Hazen - Williams Equation)

للقدرة على تصميم شبكة خطوط مواسير مياه أو مياه صرف صحي أو لتحليل شبكة المواسير الموجودة، يكون من الضروري القدرة على حساب طاقة الفقد، الضغوط، والتدفقات خلال الشبكة، توجد معادلات كثيرة في الهيدروليكا لعمل ذلك ولكن الأكثر استخداماً هو معادلة هازن - وليامز.

$$Q = 0.28 \times C \times D^{2.63} \times S^{0.54}$$

حيث :

Q = معدل التدفق متر مكعب في الثانية أو قدم مكعب في الثانية.

C = معامل خشونة الماسورة.

D = قطر ماسورة بالمتر أو بالبوصة.

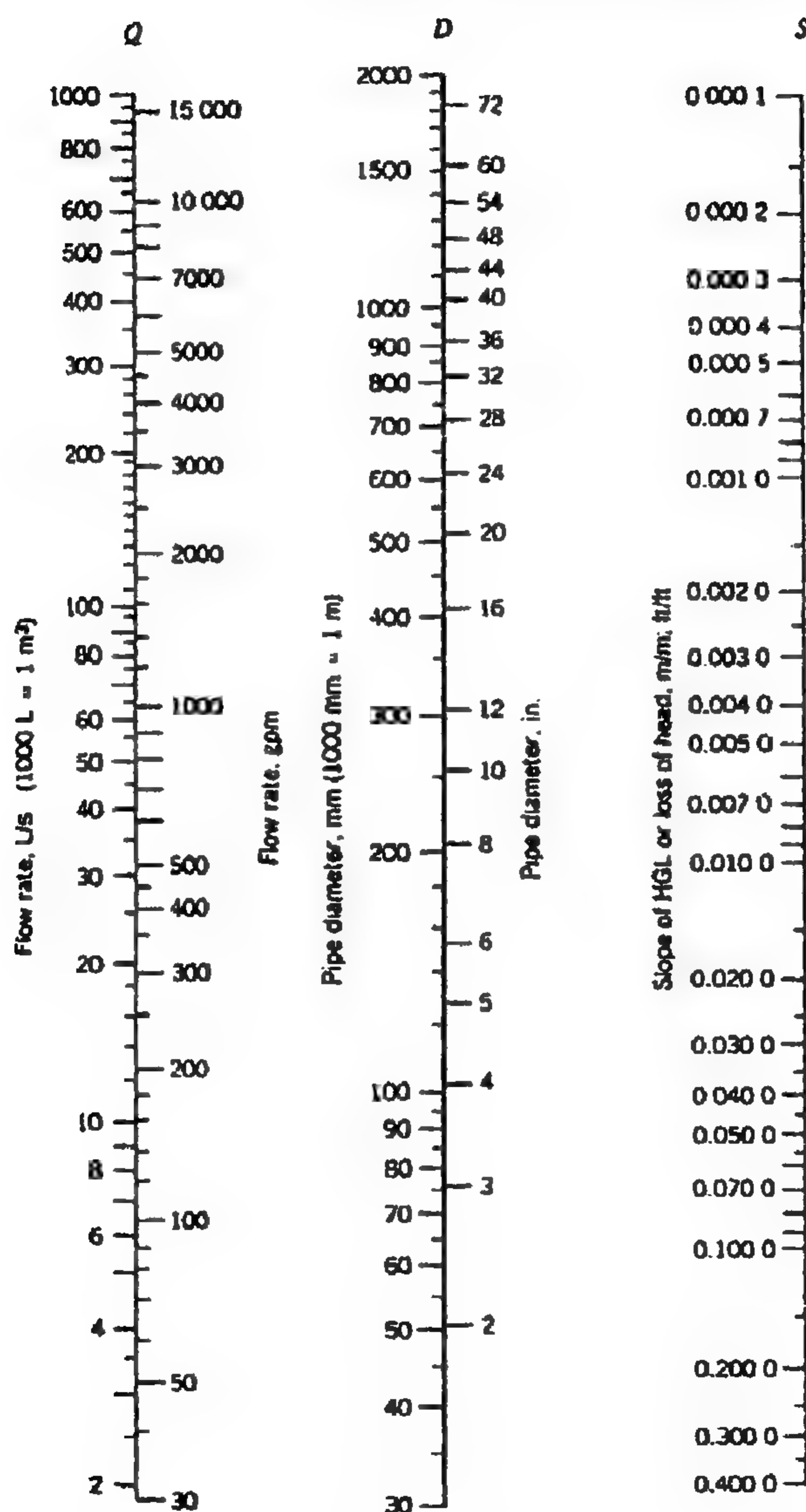
S = خط التدرج الهيدروليكي (بدون أبعاد)

(لاحظ أن هذه المعادلة ليست المعادلة الأصلية لهازن - وليامز، ولكن مع الثابت (0.28) يمكن استخدام هذه المعادلة بالدقة الكافية لكل من الوحدات المترية ووحدة القدم/طالما أن وحدات Q و D المذكورة هنا هي المستخدمة. للأغراض العملية، القيم التي يتم حسابها يمكن تقريبها إلى رقمين ذات قيمة).

مخطط بياني هازن - وليامز : (Hazen - Williams Nomograph)

في العمل الهندسي، تستخدم برامج الحاسب الآلي المتقدمة لتحليل الهيدروليكي لنظم المياه أو مياه الصرف الصحي الضخمة. ولكن المهندسين والأخصائيين عادة لهم الفرصة

لعمل الحسابات يدوياً أى باستخدام الحاسب اليدوى، بعض الحاسبات اليدوية المبرمجة تفيد فى حل المعادلات مثل معادلة هازن - وليام. ولكن كثيراً من العاملين فى هذا المجال يقومون باستخدام الجداول والمخططات التى توفر حل سريع وسهل لمعادلة موصوفة. مساعدات التصميم مثل هذه توفر دقة عددية كافية لجميع الأغراض الهندسية، مثل هذه المخططات هو المخطط البياني الموضح فى الشكل (١/١٥).



شكل (١/١٥) مخطط لمعادلة هازن - وليام لتدفق المياه فى المواسير

تحت الضغط $C = 100$

تستخدم مسطرة لوضع البيانات المعلومة على خط واحد وقراءة الحل للقيمة الغير معلومة حيث تتقاطع المسطرة مع المحور المناسب.

المخطط البياني لهازن- وليام الموضح فى الشكل (١/١٥) تم إعداده لمعامل خشونة الماسورة قيمته ١٠٠. قيمة (C) = ١٠٠ يمكن أن تمثل معامل احتكاك لماسورة حديدية غير مبطننة والتي عمرها حوالى ٢٠ سنة. معظم المصممين يستخدمون هذه القيمة عند إعداد خطط لخط مواسير حديد غير مبطن للتعويض عن القدم والتلف للماسورة الذى يصعب تجنبه. المواسير الجديدة تكون أكثر نعومة وتوفر تدفقات أكثر (حيث C أكبر من ١٠٠) قيمة معامل الخشونة للمواسير الخرسانية يمكن أن يكون (C = ١٣٠)، ومواسير البلاستيك الناعمة يمكن أن تكون قيمة (C) لها حتى ١٥٠. فى هذا المرجع كل المسائل لها قيمة فرضية C = ١٠٠.

لاستخدام المخطط البياني لهازن - وليام يجب معرفة اثنين من القيم الثلاثة (S, D, Q)، القيمة الغير معلومة يمكن عندئذ تعيينها. يتم وضع طرف المسطرة على المحاور بحيث تتقاطع القيمتين المعلومتين بخط مستقيم. القيمة الثالثة توجد عند تقاطع الخط مع محورها المقابل. الأمثلة التالية توضح هذه الطرق.

مثال :

ماسورة بقطر ١٢ بوصة تحمل مياه مع فقد فى الطاقة قدرة ١٠ قدم كل ١٠٠٠ متر من خط المواسير، عين معدل التدفق فى الماسورة باستخدام المخطط البياني فى الشكل (١/١٥). راجع الحل باستخدام معادلة هازن-وليام.

الحل :

$$\text{احسب قيمة الميل } (S = h_f/L) = 10 \text{ قدم} / 1000 \text{ قدم} = 0.01$$

ضع طرف المسطرة المستقيم مقاطعا البيانات ١٢ بوصة على العامود (D)، ٠.٠١ على العامود (S). اقرأ معدل التدفق حوالى ١٦٠٥ جالون فى الدقيقة على عامود التصريف (Q).

عند تطبيق المعادلة تجد أن

$$Q = 0.28 \times 12^{2.63} \times 0.01^{0.54} = 1605 \text{ جالون فى الدقيقة}$$

حل المخطط البياني له دقة كافية لمعظم التطبيقات العملية.

مثال :

ماسورة بقطر ٨ بوصة تحمل تدفق قدرة واحد قدم مكعب في الثانية، احسب الانخفاض في الضغط لكل ميل من خط المواسير مقدرا بالرطل/ البوصة المربعة.

الحل :

أولاً : من الضروري تحويل التدفق إلى وحدات جالون في الدقيقة ليتمكن استخدام المخطط البياني.

$$1 \text{ قدم مكعب/ الثانية} \times 7.48 \text{ جالون/ قدم مكعب} \times 60 \text{ ثانية/ الدقيقة} = 450 \text{ جالون في الدقيقة.}$$

باستخدام المخطط البياني يتم توصيل $Q = 450$ جالون في الدقيقة، القطر $D = 8$ بوصة. يتم قراءة قيمة 0.0064 على المحور S .

$$\text{حيث } S = \frac{h_L}{L}, \quad L \times S = h_L$$

في هذه المسألة L هي واحد ميل أو ٥٢٨ قدم لذلك

$$h_L = 0.0064 \times 5280 = 34 \text{ قدم}$$

بمعنى آخر خط الميل الهيدروليكي سوف ينخفض مسافة أفقية قدرها ٣٤ قدم كل ميل من خط المواسير. لتحويل هذا الفقد في الضغط إلى القيمة المكافئة بالرطل على البوصة المربعة استخدم المعادلة

$$\text{الانخفاض في الضغط } P = h_L \times 2.31 = 34 \times 2.31 = 78.54 \text{ رطل/ البوصة المربعة.}$$

مثال :

ما هو أقل قطر لماسورة يلزم لحمل تدفق ٣٠ لتر في الثانية بدون أن تسبب انخفاض في الضغط أكثر من ١٠ كيلو باسكال لكل كيلو متر من خط المواسير؟

الحل :

يتم تحويل الفقد في الضغط إلى المكافئ من طاقة الضغط باستخدام المعادلة السابق ذكرها

$$h = \frac{P}{9.8} = 0.1 \times P$$

$$h_L = 0.1 \times P = 0.1 \times 10 \therefore$$

$$= 1 \text{ m} / \text{km}$$

أى متر واحد لكل كيلو متر

$$\text{حيث أن } S = \frac{h_L}{L}, \quad L = 1 \text{ كيلو متر} = 1000 \text{ متر},$$

$$S = 1000 / 1 = 0.001$$

باستخدام المخطط $Q = 30$ لتر/ث، $S = 0.001$ يكون القطر $D = 310$ ملمتر.

الفقد في الطاقة بسبب اللزوجة والاحتكاك خلال الطول المستقيم لخط مواسير هو السبب لمعظم الانخفاض في الضغط. هذا الفقد يسمى الفقد الرئيسي. ولكن مع تدفق الماء خلال المحابس والأكواع والتوصيلات الأخرى للماسورة، فإنه يوجد فقد آخر بسبب الاضطراب (Turbulence). وهذا يسمى الفقد الثانوي. في نظم توزيع المياه الضخمة، مجموع الفقد الثانوي يكون صغيراً جداً مقارنة بالفقد الرئيسي ولذلك فإنه يهمل. في محطات الضخ، حيث يمكن وجود كثير من المحابس والمنحنيات في مساحة محدودة، فإن الفقد الثانوي يجب حسابه باستخدام معاملات الفقد المناسبة أو معاملات الطول المكافئة.

قياس التدفق : Flow Measurement

المعدل الذي يتم به ضخ الماء في شبكة التوزيع أو ضخ الصرف الصحي إلى التجميع الرئيسي يجب معرفته وذلك لتحقيق كفاء التحكم والتشغيل للنظام. أحد أهم الأنواع المستخدمة عادة لقياس المنصرف في الماسورة المغلقة (Closed Pipe) هو مقياس الفنشوري (Venture Meter). وهذا عبارة عن مقياس لفرق الضغط، حيث معدل التدفق يكون مرتبطاً بفرق الضغط الذي يسببه هذا المقياس، باستخدام المعادلات من استمرارية التدفق (Continuity of Flow) ومعادلة بيرنولي (Bernoulli). مقطع خلال مقياس الفنشوري موضح في الشكل (١/١٦). كما سبق توضيحه في البند (٢) نحو ترشيد الطاقة (Energy Conservation) حيث الضغط في مقطع الاختناق، الذي يسمى زور أنبوبة الفنشوري، يجب أن يكون أقل من الضغط فوق التيار مباشرة لمقطع الماسورة.

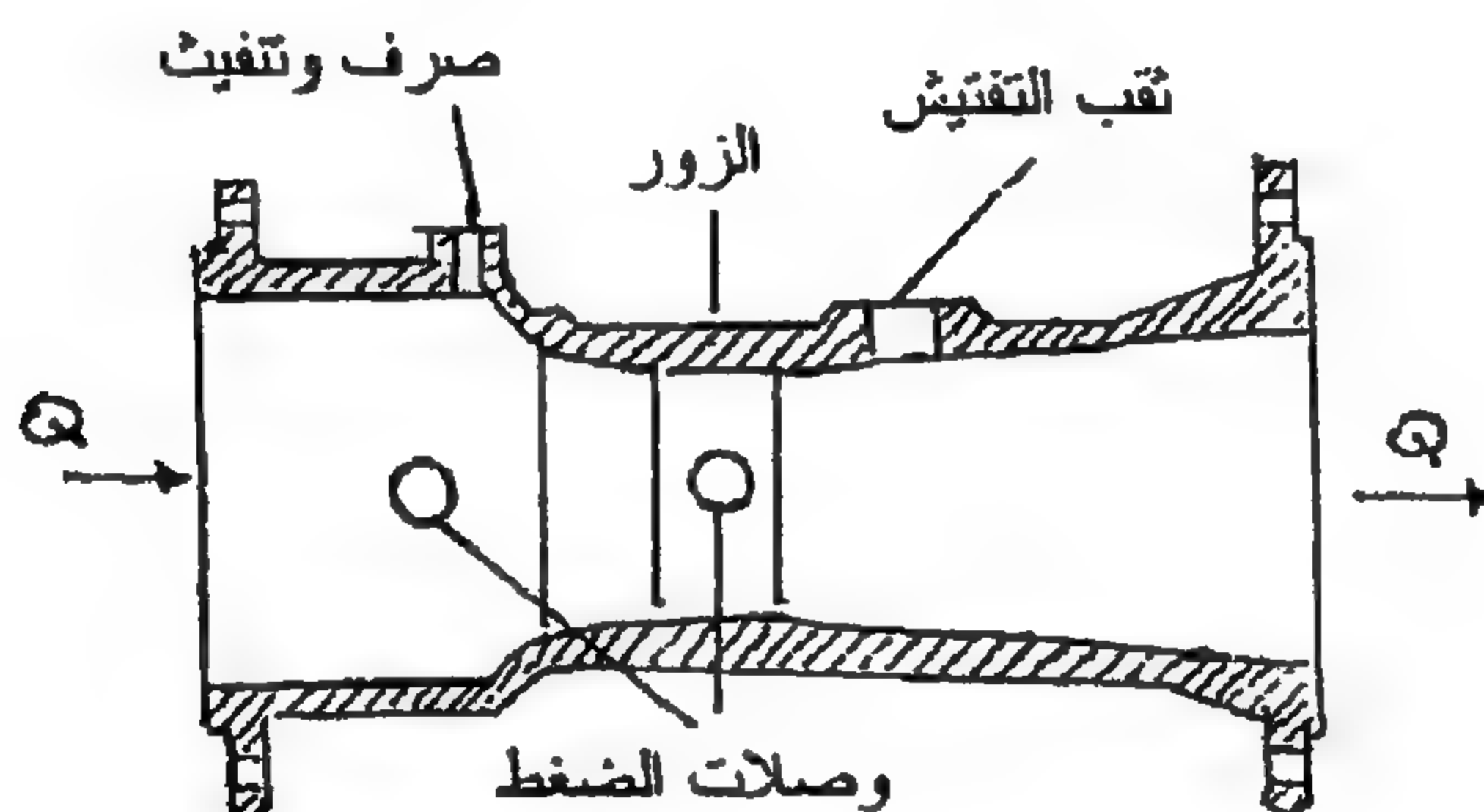
باستخدام معادلة الاستمرارية ومعادلة بيرنولي، يمكن استنتاج المعادلة التالية للعلاقة ما بين التصريف (Q) وقياس فرق الضغط (P1 - P2).

$$Q = C \times A_2 \left[\frac{2g(P_1 - P_2) / \omega}{1 - (A_2 / A_1)^2} \right]^{1/2}$$

في هذه المعادلة :

C = معامل التصريف الذي يسبب فقد قليل في الضغط في مقياس الفنشوري وهو عادة حوالي ٠,٩٨.

كل البيانات الأخرى (المصطلحات) تم توضيحها في معادلات الاستمرارية ومعادلة بيرنولي. يجب الحرص نحو الاستخدام للوحدات المناسبة ذلك للمحافظة على مطابقة المعادلة للأبعاد.



شكل (١/١٦) مقياس الفنشوري يمكن إنشاؤه في خط المواسير لقياس معدل التدفق. الفرق في الضغط بين زور الفنشوري والمقطع فوق التيار يمكن تحويله إلى تصرف باستخدام معادلة بيرنولي.

مثال :

مقياس الفنشوري في ماسورة بقطر ١٠٠ مم، قطر زور الفنشوري ٥٠ ملمتر. تم قياس فرق ضغط ٧٥ كيلو بار في المقياس، ما هو معدل التدفق تحت هذه الظروف.

الحل :

يتم حساب مساحات التدفق بالمتر المربع كالآتي :

$$A_1 = \frac{\pi \times (0,1 \text{ متر})^2}{4} = 0,00785 \text{ متر مربع}$$

$$A_2 = \frac{\pi \times (0,05 \text{ متر})^2}{4} = 0,00196 \text{ متر مربع}$$

$$\text{نسبة } A_2 \text{ إلى } A_1 = 0,00196 \div 0,00785 = 0,25$$

$$1 - (0,25)^2 = 0,9375$$

باستخدام المعادلة السابقة نحصل على

$$Q = 0,98 \times 0,00196 \times \left[\frac{[9,8 \div 75] \times 9,8 \times 2}{0,9375} \right]^{1/2}$$

$$= 0,024 \text{ م}^3/\text{ث}$$

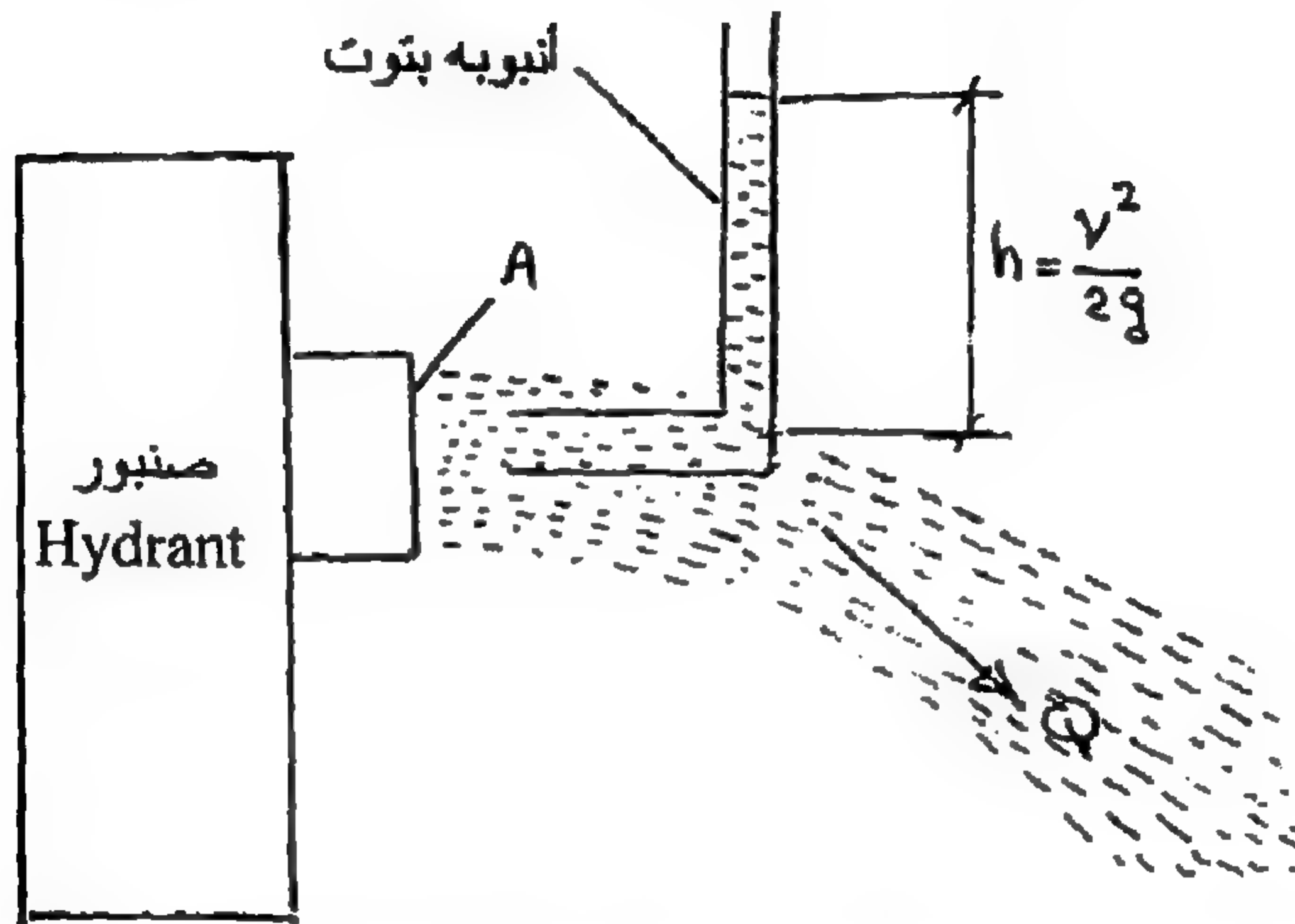
$$= 24 \text{ لتر/ث}$$

في معظم النظم حيث يلزم الرصد المستمر لمعدل التدفق، فإن فرق الضغط في أنبوبة الفنشورى يتم إحساسه بواسطة ناقل الضغط (Transducers) ويتم تسجيل معدل التدفق آلياً على لوحة دوائر للمخطط في غرفة التحكم. مقاييس الفنشورى متاحة بأحجام مختلفة وكثيرة. يجب أن يكون لها الشكل الصحيح والنسب في مقطع التحويل، الزور، ومقطع الخروج للمحافظة على خط مجرى التدفق والقياسات الدقيقة.

مقاييس أخرى لفرق الضغط، مثل مقاييس البزبوز (Nozzle) أو الفتحة الضيقة (Orifice) متاحة كذلك. وهي أقصر بالنسبة للطول الكلى، ولكنها تخنق التدفق (Obstruct the Flow) وتسبب فقد أكبر في الضغط مقارنة بمقاييس الفنشورى.

تجهيزة أخرى لقياس معدلات التدفق في خطوط المواسير المقفلة وهي مقياس التدفق المغناطيسى (Magnetic Flow Meter). ومميزاته في أنه لا يسبب أى اختناق في مسار السائل. مبدأ العمل مبني على أن الماء موصل كهربى إلى حد ما وعند تحركه خلال مجال مغناطيسى، فإنه يسبب فرق جهد. المقياس يحصل على المجال المغناطيسى حول الماسورة وكذلك يستشعر فرق الجهد الناتج. زيادة معدل التدفق، تزيد فرق الجهد (الفولت). ترسل إشارات مفرق الجهد إلى مخطط معاير للتسجيل بوحدات معدل التدفق.

التجهيزة تسمى ماسورة بيتون الاستاتيكية (Pitotstatic Tube)، موضحة في الشكل (١/١٧)، يمكن استخدامها لقياس صرف التدفق بواسطة صنوبر (Hydrant) مفتوح في نظام توزيع المياه. وتتكون أساساً من أنبوبة مفتوحة من الطرفين ومنحنية بحيث يكون طرفاً منها متجهاً نحو تدفقات الماء بينما الطرف الآخر يكون عمودياً. الجزء العامودي من الأنبوب يمتلئ بالماء إلى ارتفاع يتناسب مع سرعة التدفق. في حالة معرفة مساحة فتحة الصنوبر، فإنه يمكن حساب التصريف من معادلات الإستمرارية وبيرونولي.



شكل (١/١٧) أنبوبة بتوت هي تجهيزة بسيطة يمكن استخدامها

لقياس سرعة التدفق السرعة تتناسب مع الجذر التربيعي لارتفاع الماء في الخزان.

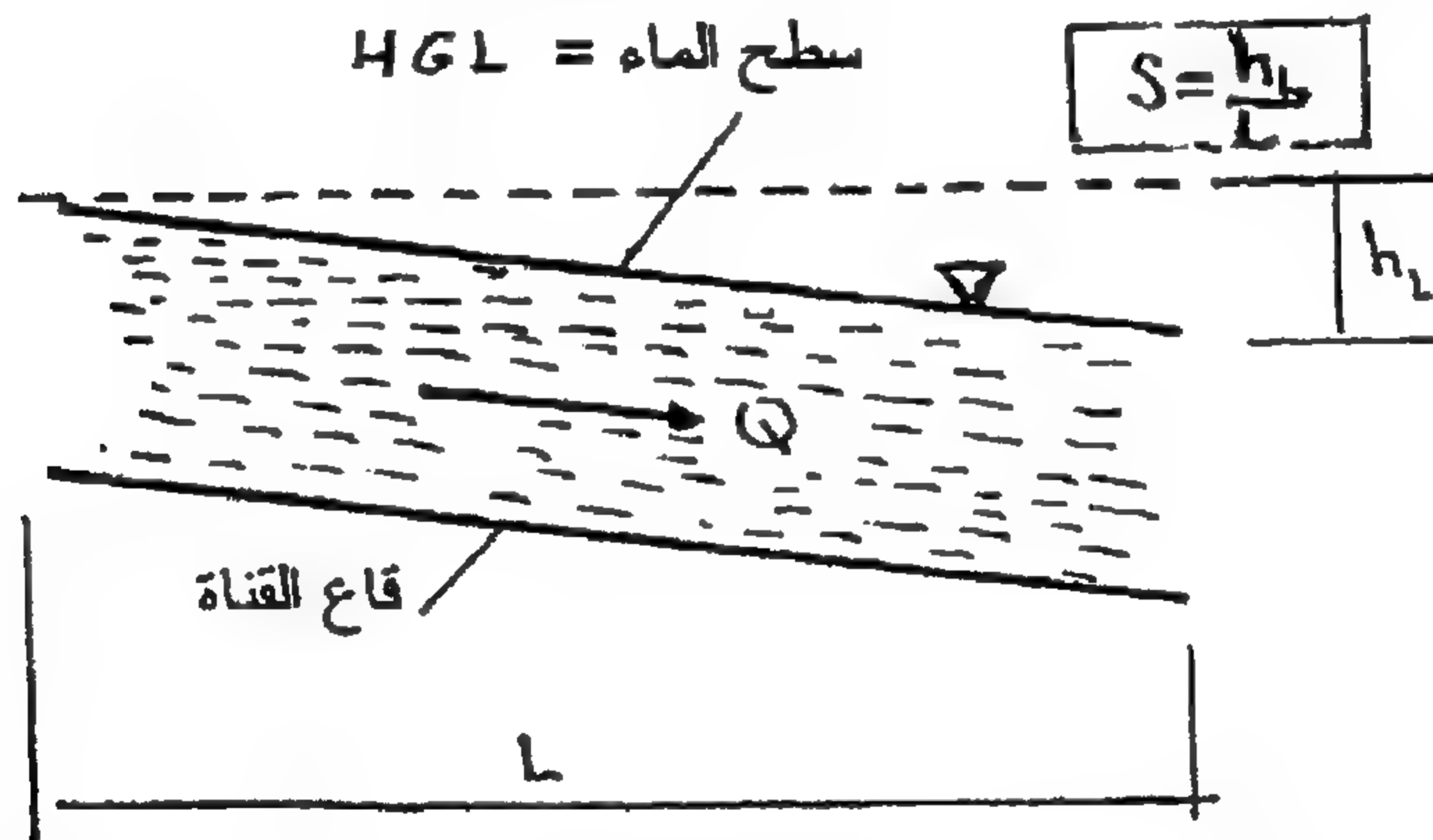
عدادات القياس المنزلية تسجل إجمالي حجم المياه الذي يمر خلالها. نوع آخر من العدادات للوصلات الصغيرة هو موجب الإذابة أو عداد القرص المنحني (Nutating Disk Meter). في هذه التجهيزة تمر المياه خلال غرفة صغيرة معلومة الحجم. عدد الدورانات على القرص، والتي تتناسب مع حجم الماء، تنقل إلى جهاز التسجيل. في الإنشاءات الحديثة يمكن وضع المسجل الرقمي خارج المنزل لتسهيل قراءة العداد بواسطة مندوب مرفق المياه.

التدفق بالجاذبية في المواسير : (Gravity Flow In Pipes)

عند تدفق المياه في ماسورة أو في قناة ذات سطح حر معرض للجو، فإن هذا يسمى قناة مفتوحة أو تدفق بالجاذبية. الجاذبية توفر قوة الحركة، بينما الاحتكاك يعيق الحركة ويسبب فقد في الطاقة. المجارى المائية والأنهار تتدفق في قناة مفتوحة. كذلك فإن التدفق

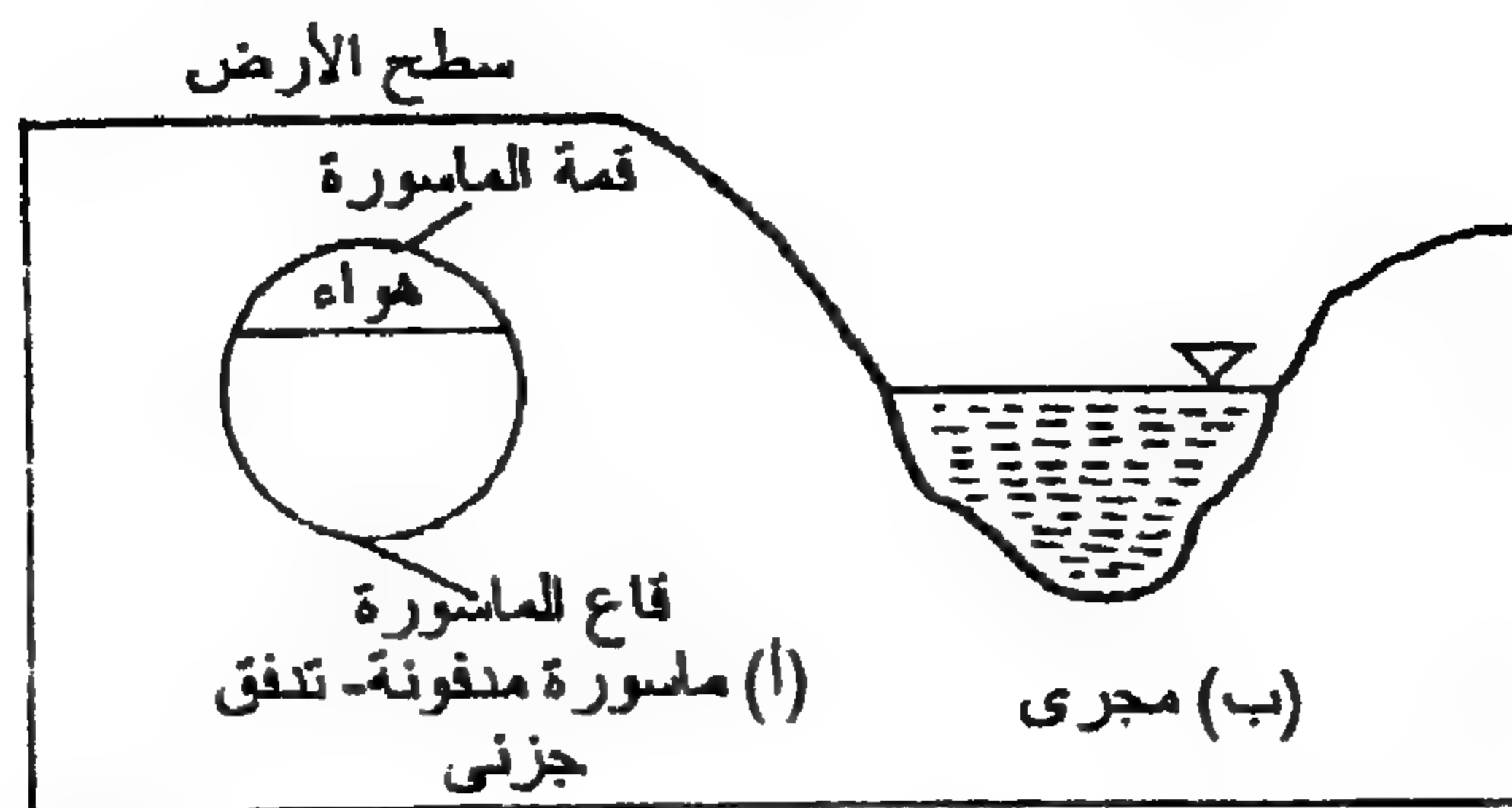
لمياه الأمطار ومواسير الصرف الصحي هو كذلك تدفق في قناة مفتوحة أى بالجاذبية، عدا في حالة ضخ الماء خلال ماسورة تحت الضغط. في معظم المسائل الروتينية في تصميم أو في تحليل نظم الصرف الصحي، فإنه يتم افتراض حالة تدفق ثابتة بالمتجانس (Steady Uniform Flow). التدفق الثابت يعنى أن التصريف ثابت بالنسبة للوقت. التدفق المتجانس يعنى أن ميل سطح الماء ومساحة مقطع التدفق كذلك يكون ثابتاً. طول المجرى، القناة أو خط المواسير الذى له ميل ثابت ومقطع ثابت نسبياً يسمى (Reach). في حالة ثبات التدفق يكون ميل سطح الماء هو نفسه ميل قاع القناة. خط التدرج الهيدروليكي (HGL) (Hydraulic Grade Line) على طول سطح الماء، كما في حالة مواسير التدفق بالضغط، يميل إلى أسفل في اتجاه التدفق. الفقد في الطاقة يكون واضحاً مع الهبوط في ارتفاع سطح الماء. نموذج لشكل التدفق الثابت المنظم موضح في الشكل (١/١٨). ميل سطح الماء يمثل معدل الفقد في الضغط. يمكن التعبير عنه كنسبة الفقد في الارتفاع للسطح إلى الطول.

نموذج لتدفق في قناة مفتوحة موضح في الشكل (١/١٩). في الشكل (١-١/١٩) الماسورة ممثلة جزئياً فقط بالماء ويوجد سطح حر عند الضغط الجوى.



شكل (١/١٨) في التدفق المنتظم للقناة المفتوحة يكون ميل سطح الماء

أو خط الانحدار الهيدروليكي (HGL) مساوياً لميل قاع القناة



شكل (١/١٩) أى تدفق يحدث مع سطح حر معرض للضغط الجوى

هو تدفق القناة المفتوحة، سواء حدث فى مجرى سطحي أو فى

ماسورة تحت سطح الأرض

يظل كذلك تدفق القناة المفتوحة حتى فى حالة الماسورة المقلدة تحت سطح الأرض. العامل الهام هو أن الجاذبية وليست المضخة هى التى تحرك الماء. قمة الماسورة تسمى (Crown) وقاع الماسورة يسمى (Invert). أحد الأهداف الرئيسية لتصميم خطوط مواسير الصرف الصحى هى بتوفير ارتفاعات مناسبة بالنسبة للقاع على طول خط المواسير. طول السطح المبني لمقطع الماسورة أو المجرى يسمى المحيط المبني. قطر القناة، وكذلك الميل، المحيط المبني، هى عوامل هامة مرتبطة بطاقة التصريف.

معادلة ماننج : (Manning's Formula)

المعادلة العادية لحل مسائل التدفق فى القناة المفتوحة تسمى معادلة ماننج وتكتب كالتالى :

$$Q = \frac{1 \text{ or } 1.5}{n} \times A \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

وهذه معادلة نتيجة التجارب. حيث :

Q = تصرف القناة متر مكعب/ الثانية (قدم مكعب/ الثانية)

1 = ثابت بالنسبة للوحدات المترية

1.5 = ثابت للوحدات الأمريكية

n = معامل الخشونة للقناة (لماننج)

$A =$ مساحة مقطع التدفق متر مربع (قدم مربع)

$R =$ نصف القطر الهيدروليكي للقناة متر (قدم)

$S =$ ميل قاع القناة، بدون أبعاد.

يعرف نصف القطر الهيدروليكي للقناة بأنه النسبة ما بين مساحة التدفق إلى المحيط

$$\text{المبتل (P). في المعادلة } R = \frac{A}{P}.$$

معامل الخشونة يعتمد على المادة وعمرها للماسورة أو القناة المبطننة وعلى الظواهر الطبوغرافية لقاع المجرى الطبيعي. ويمكن أن يتراوح ما بين ٠,٠١ للماسورة الناعمة من الطفلة حتى ٠,١ للمجرى الطبيعي الصغير. قيمة n عادة تفترض للمواسير الخرسانية أو القنوات المبطننة لتكون ٠,٠١٣. المثال الآتي يوضح استخدامات معادلة مانينج لقناة ذات مقطع مستطيل.

مثال :

قناة صرف مستطيلة المقطع بعرض ٣ قدم ومبطننة بالخرسانة، كما هو موضح في الشكل (١/٢٠). قاع القناة ينخفض ارتفاعه بمعدل ٠,٥ قدم كل ١٠٠ قدم. ما هو تصرف القناة عندما يكون عمق الماء ١,٥ متر؟ افترض $n = ٠,٠١٣$.

الحل :

حيث أن البيانات تستخدم الوحدات الأمريكية لذلك فإن الثابت المستخدم سيكون ١,٥. في حالة الشكل (١/٢٠) مساحة مقطع التدفق $A = ٣ \text{ قدم} \times ١,٥ \text{ قدم} = ٤,٥ \text{ قدم مربع}$ ،

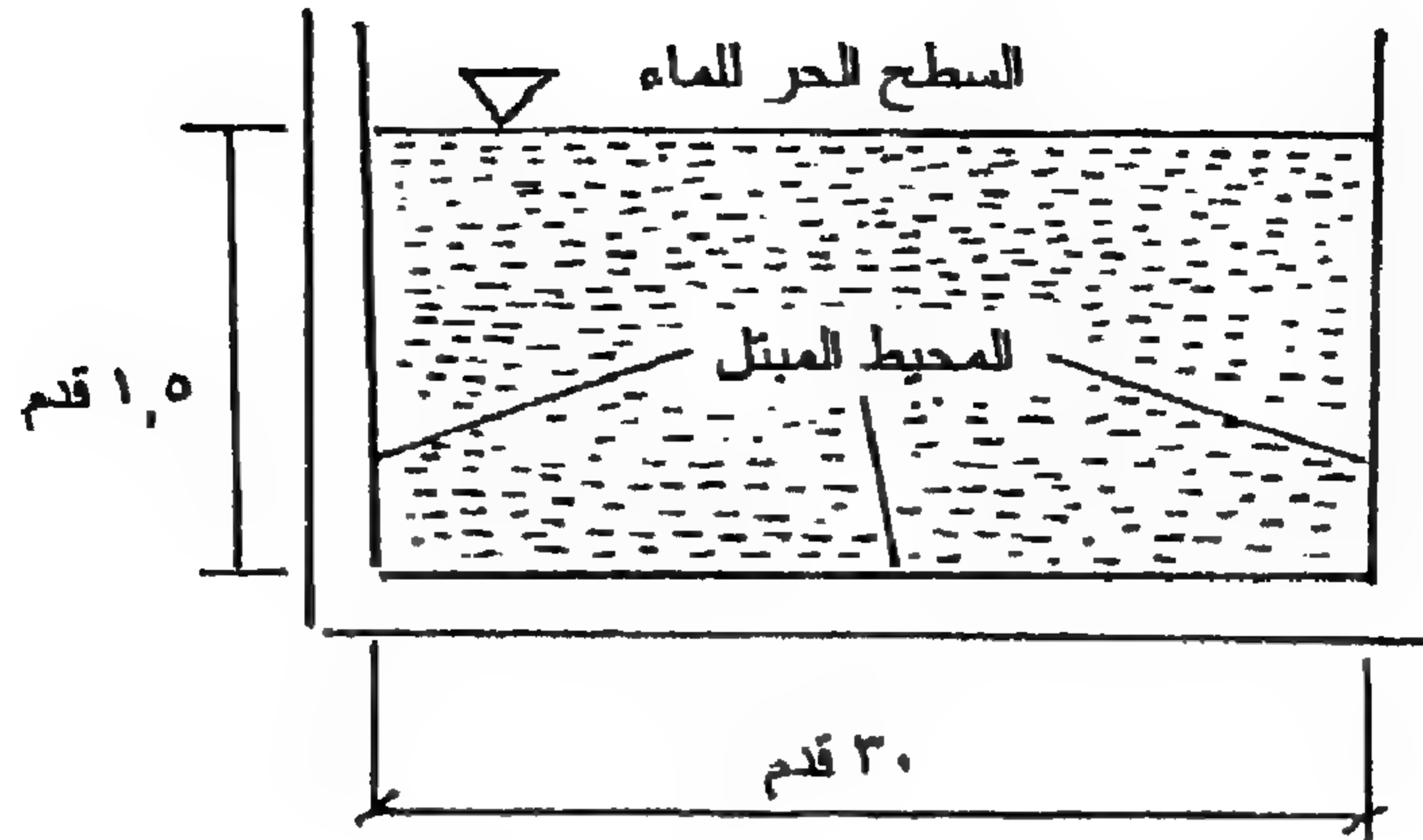
المحيط المبتل $P = ١,٥ \text{ قدم} + ٣ \text{ قدم} + ١,٥ \text{ قدم} = ٦ \text{ قدم}$. القطر الهيدروليكي $R = \frac{A}{P}$

$$٤,٥ \text{ قدم مربع} \div ٦ \text{ قدم} = ٠,٧٥ \text{ قدم. الميل } S = ٠,٥ \div ١٠٠ = ٠,٠٠٥.$$

باستخدام المعادلة

$$Q = \frac{٠,٠١٣}{١,٥} \times ٤,٥ \times (٠,٠٠٥)^{١/٢} \times (٠,٧٥)^{٣/٢}$$

$$= ٣٠ \text{ قدم مكعب في الثانية تقريباً}$$



شكل (١/٢٠) توضيح للمعادلة

للماسورة المستديرة الممتلئة بالتدفقات : Circular Pipe Flowing Full

معظم خطوط مواسير الصرف الصحي (وصرف مياه الأمطار) تكون ذات مقطع مستدير. بالإضافة إلى معامل الخشونة، فإن العوامل الهامة المتعلقة بالتصميم أو بتحليل خطوط المواسير هذه هو التصريف (Q)، سرعة التدفق (V)، وقطر الماسورة (D)، وميل الماسورة (S).

في الماسورة المستديرة الحاملة للماء حتى تمام الملء إلى القمة (ولكن لازالت تحت الضغط الجوى والتدفق بالجاذبية)، فإن مساحة التدفق A هي $\frac{\pi D^2}{4}$ ، مساحة الماسورة. المحيط المبتل (P) هو محيط الماسورة أو (πD) . حيث أن نصف القطر الهيدروليكي R هو $P \div A$ ، لذلك

$$R = \frac{(\pi D^2) / A}{\pi D} = \frac{\pi D^2}{4} \times \frac{1}{\pi D} = \frac{D}{4}$$

في حالة المواسير المستديرة التى تتدفق ممتلئة فإن معادلة ماننج تأخذ عندئذ الشكل الآتى :

$$Q = \frac{1.486 S^{1/2}}{n} = \frac{\pi D^2}{4} \times \left(\frac{D}{4} \right)^{2/3} \times S^{1/2}$$

لقيمة n معطاة، فإن المطلوب يكون فقط قطر الماسورة والميل لحساب التصريف فى ماسورة مستديرة ممتلئة بالتدفقات. لتسهيل استخدام معادلة ماننج، وخاصة للمسائل الروتينية للمواسير المستديرة فإنه عادة تستخدم المخططات. المخطط لمعادلة ماننج

للمواسير المستديرة ذات التدفق الممتلئ حيث $n = 0.13$ موضح في الشكل (١/٢١). بالنسبة للمواسير ذات قيمة (n) تختلف عن 0.13 يتم ببساطة ضرب قيمة (Q) ، قيمة (V) من المخطط بنسبة 0.13 إلى قيمة (n) الحقيقية.

لاستخدام المخطط، يجب معرفة اثنين من بين المتغيرات الأربعة (V, Q, S, D) . بوضع مسطرة ذات طرف مستقيم على قيمتين معلومتين، فإنه ستتقاطع مع المتغيرين الآخرين على محاورهما. استخدام مخطط مانتج موضح في المثال التالي.

مثال :

خط مواسير بقطر ١٢ بوصة أنشئ بميل ١%. بفرض $n = 0.13$ عين طاقة التصريف لخط المواسير عند التدفق الممتلئ. ما هي سرعة التدفق؟

الحل :

عين مكان قيمة القطر $D = 12$ بوصة، الميل $S = 0.01$ على المخطط في الشكل (١/٢١). يتم قراءة قيمة $Q = 1580$ جالون في الدقيقة وقيمة 4.6 قدم في الثانية للسرعة.

باستخدام معادلة مانتج يتم مراجعة دقة المخطط كالتالي :

$$Q = \frac{1}{0.13} = \frac{\pi \times 1^2}{4} \times \left(\frac{1}{4}\right)^{2/3} \times (0.01)^{1/2}$$

$$= 3.6 \text{ CFS}$$

$$Q = 3.6 = \text{قدم مكعب في الثانية} \times 7.48 \text{ جالون/قدم مكعب} \times 60 \text{ ثانية في الدقيقة} = 1600 \text{ جالون في الدقيقة}$$

$$V = Q/A = \frac{3.6}{(\pi \times 1^2)/4} = 4.6 \text{ ft/Sec} \quad \text{و}$$

هذه القيم تتطابق تماماً مع نتائج المخطط.

مثال :

ماسورة تجميع مياه الأمطار بقطر ٤٥٠ ملليمتر أنشئت بميل هيدروليكي ٢%. ما هي طاقة التصريف وسرعة التدفق عندما تكون الماسورة ممتلئة؟

الحل :

باستخدام معادلة مانتج :

$$Q = \frac{1}{0.13} = \frac{\pi \times (0.45)^2}{4} \times \left(\frac{0.45}{4}\right)^{2/3} \times (0.02)^{1/2}$$

$$= 0.4 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.4}{\pi \times (0.45)^{2/4}} = 2.5 \text{ m/s}$$

مثال :

ما هو قطر الماسورة لحمل تدفق الذروة لا يقل عن ٥٠٠ لتر في الثانية على تدرج ٠,٢٥%؟

الحل :

أولاً: يتم تحويل التدفق إلى المتر المكعب في الثانية

$$Q = 500 \text{ L/s} \times 1\text{m}^3/1000\text{L} = 0.5\text{m}^3/\text{s}$$

يتم تعليم $Q = 0.5$ متر مكعب في الثانية، الميل $= 0.25\%$ أو 0.0025 على المحاور المناسبة على المخطط شكل (١/٢١). الحل يتم الحصول عليه على محور القطر هو حوالي ٧٥ سم أو ٧٥٠ ملليمتر.

عملياً يتم اختيار أكبر قطر تالى قياسى للماسورة.

Manning Formula
Pipe Flow Chart
American/SI units

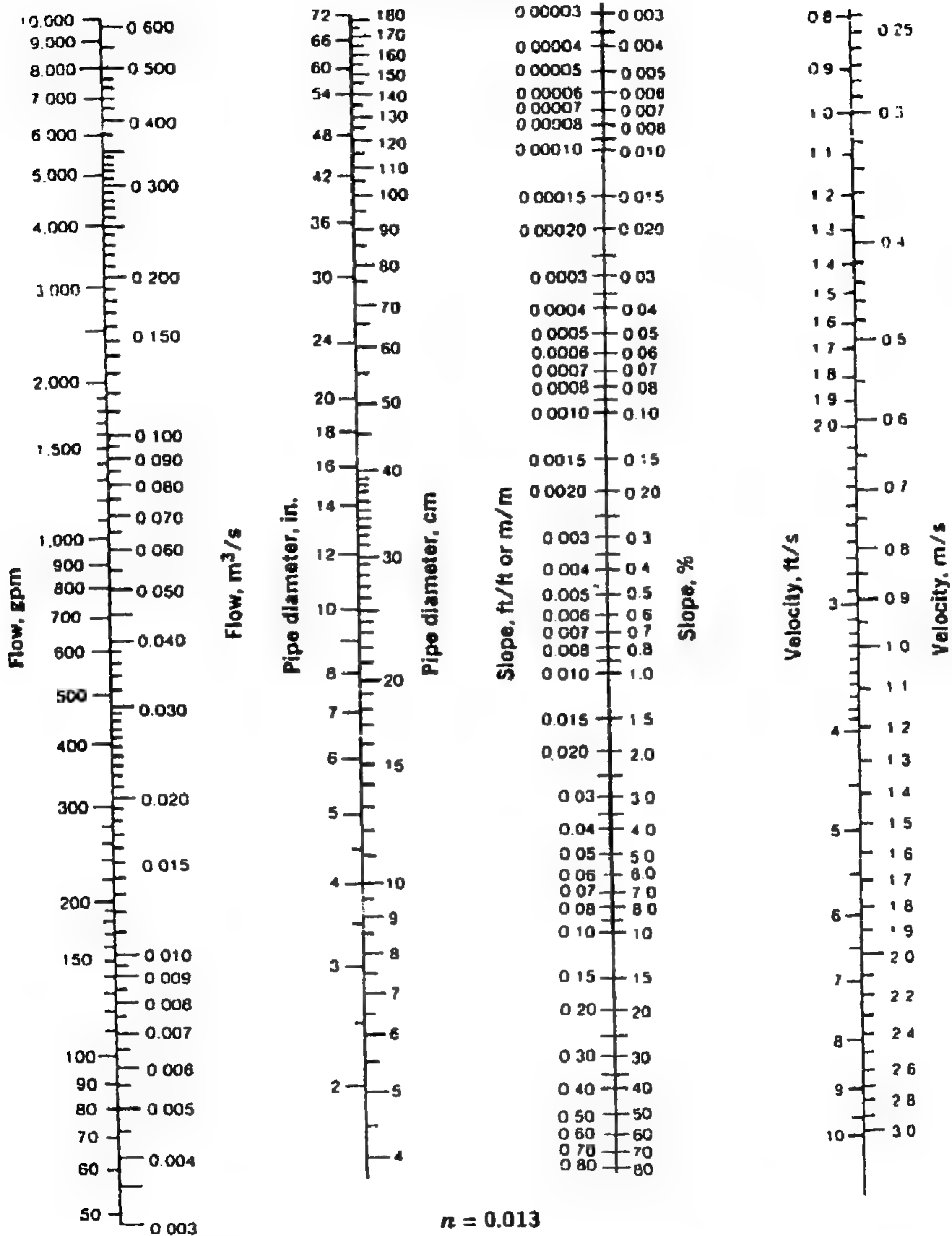


Chart based on the formula $Q = \frac{1.49 \text{ or } 1.49}{n} \times AR^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$ for pipe flowing full

شكل (١/٢١) مخطط ماننج للمواسير المستديرة عند التدفق متلئة، $n = 0.013$ ، تستخدم معادلة ماننج للقناة المفتوحة أو التدفق بالجاذبية، بينما معادلة هازن-ويليام تستخدم للتدفق تحت الضغط.

مثال :

على أى ميل يتم إنشاء خط مواسير صرف صحى بقطر ١٦ بوصة فى حالة حملها مالا يقل عن ٧٥٠ جالون فى الدقيقة بسرعة لا تقل عن ٢ قدم فى الثانية؟

الحل :

أولا يتم تعيين $D = ١٦$ بوصة، $Q = ٧٥٠$ جالون فى الدقيقة على مخطط ماننج، يتم قراءة $S = ٠,٠٠٠٤٨$. ولكن عند هذا الميل تكون السرعة حوالى $V = ١,٢$ قدم فى الثانية، التى هى أقل من أدنى سرعة مسموح بها والتى هى ٢ قدم فى الثانية. يكون من الضروري زيادة الميل لزيادة سرعة التدفق.

حدد $D = ١٦$ ، $V = ٢$ على المخطط. اقرأ $S = ٠,٠٠١٤$ أو $٠,١٤\%$. لاحظ أن طاقة التصريف الحقيقية للماسورة ١٦ بوصة الممتلئة عند هذا الميل هو $Q = ١٢٥٠$ جالون فى الدقيقة. فى هذه المسألة، أدنى سرعة مطلوبة هى العامل الحاكم. إذا كان معدل التدفق ٧٥٠ جالون فى الدقيقة، فإن الماسورة يكون التدفق فيها ممتلئ جزئياً.

التدفق الجزئى فى المواسير : (Partial Flow In Pipes)

فى معظم الأوقات يكون التدفق فى خطوط مواسير الصرف بالجاذبية ممتلئ جزئياً. السطح الحر للماء يكون عادة أسفل قمة الماسورة. هذه الحالة موضحة فى الشكل (١/١٩-أ). هيدروليكا التدفق الجزئى يمكن حلها مباشرة باستخدام معادلة ماننج، ولكن من المناسب استخدام مخطط التدفق الجزئى الموضح فى الشكل (١/٢٢). هذا المخطط يراعى فيه تغيرات القطر الهيدروليكي مع العمق، والذي بخلاف ذلك يحتاج لحسابات كثيرة. المثال الآتى يوضح الاستخدام.

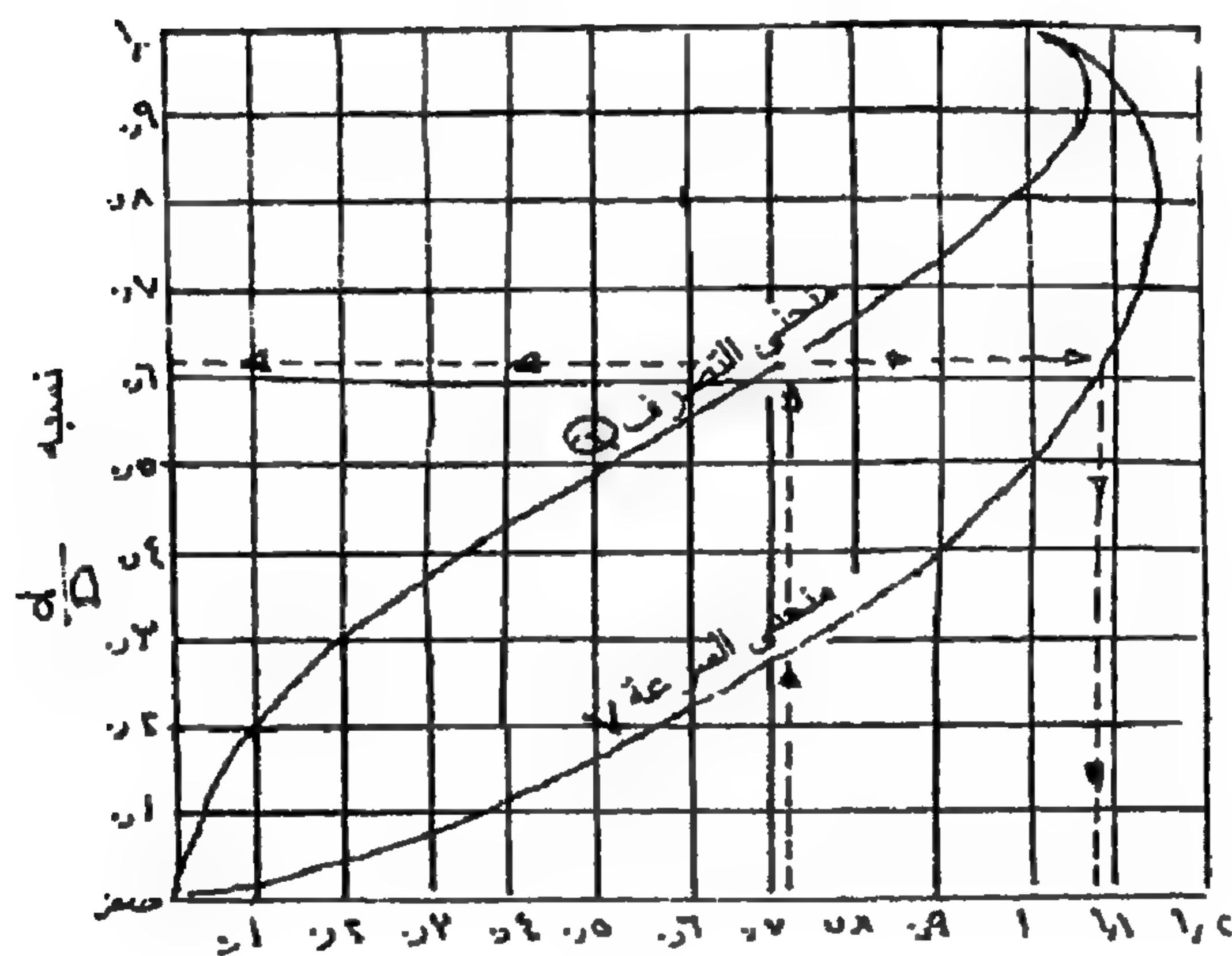
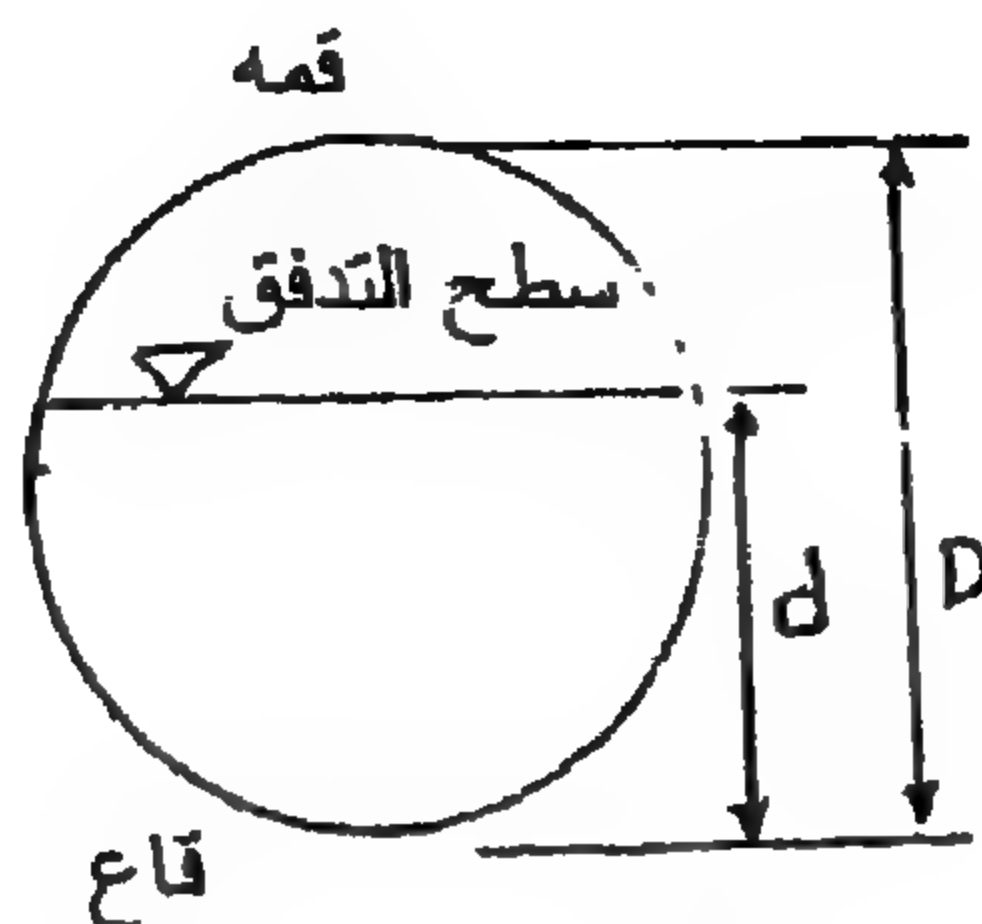
مثال :

ماسورة بقطر ٣٠٠٠ ملليمتر أنشئت بميل $S = ٠,٠٢$. ما هو عمق التدفق فى الماسورة عندما تحمل ٩٦ لتر فى الثانية؟ وما هى سرعة التدفق عند هذا العمق؟

الحل :

أولاً، باستخدام مخطط ماننج، وجد أن ماسورة ٣٠٠ ملليمتر أو ٣٠ سنتيمتر على ميل ٠,٠٢ تحمل $Q = ٠,١٣٥$ متر مكعب فى الثانية. ١٣٥ لتر فى الثانية = ١٣٥ لتر فى

الثانية عند التدفق وهي ممثلة (هي الحالة التي مبنى عليها المخطط). سرعة التدفق الممتلئ $V = 1.9$ متر في الثانية.



$$\frac{v}{V} = \frac{d}{D} \quad \text{نسبة}$$

d = العمق الجزئي

D = العمق الكلي لقطر الماسورة.

q = الصرف الجزئي

Q = تصرف التدفق الممتلئ

v = سرعة الملى الجزئ.

V = سرعة الملى الكلى

شكل (١/٢٢) مخطط التدفق الجزئي لماسورة مستديرة

التي تحمل حيث سطح الماء أسفل قمة الماسورة

التصرف تحت حالات التصرف الجزئي هو $q = 96$ لتر في الثانية، نسبة التدفق الجزئي إلى التدفق الممتلئ هي $96 \div 135 = 0.71$ الآن يتم الدخول إلى مخطط التدفق الجزئي شكل (1/22) على المحور الأفقي X حيث $Q/q = 0.71$ تحرك إلى أعلا في شكل مستقيم حتى التقاطع مع منحنى التصرف Q ، من هذه النقطة على المنحنى Q ، تحرك أفقياً نحو اليسار وقرأ $D/d = 0.62$ حيث أن $D = 300$ ملمتر، يتم الحل للعمق الجزئي كالآتي :

$d = 0.62 \times 300 = 186$ ملمتر لحساب السرعة عند عمق التدفق، يتم الدخول ثانياً إلى الشكل (1/22) على المحور الرأسي (المحور y) مع $D/d = 0.62$ تم التحرك أفقياً نحو اليمين للتقاطع مع منحنى السرعة " V "، من هذه النقطة على المنحنى V ، تحرك إلى أسفل باستقامة وقرأ $V/v = 1.08$ على المحور الأفقي. حيث أن سرعة التدفق الممتلئ $= 2 \text{ سم}^2/\text{ث}$ ، يتم حساب سرعة التدفق الجزئي كالآتي:

$$v/1.9 = 1.08 \text{ and } v = 1.9 \times 1.08 = 2.1 \text{ m/S}$$

لاحظ أن سرعة التدفق الجزئي هي أكبر من سرعة التدفق في حالة التدفق الممتلئ. كما يمكن ملاحظته من الشكل (1/22) يوجد مجال للأعماق التي عندها التصرف وكذلك السرعة تزيد عن قيم العمق الممتلئ.

أقصى سرعة في الماسورة تحدث عندما يكون العمق ٨٢% من القطر، وأقصى تصرف يحدث عندما يكون العمق ٩٣% من قطر الماسورة. السبب الأساسي في هذا هو انخفاض الاحتكاك عند جدار الماسورة، عند الأعماق الضحلة، تكون مساحة التدفق الأصغر خارج تأثير انخفاض الاحتكاك، وتتنخفض نسبة التصرف إلى أقل من واحد.

مثال :

ما هي أقصى طاقة تصرف ممكنة لماسورة بقطر ٩٠٠ ملمتر أنشئت بميل ٠,١%؟

الحل :

من مخطط ماننج قيمة التدفق الكلي الممتلئ هو $Q = 550$ لتر في الثانية.

من مخطط التدفق الجزئي يحدث أقصى تصرف عندما يكون $D/d = 0.93$ ، وعند هذا العمق $Q/q = 1.08$. لذلك أقصى تصرف $q = 550 \times 1.08 = 590$ لتر في الثانية. ويحدث عند عمق $d = 0.93 \times 900 = 840$ ملمتر.

مثال :

خط مواسير صرف صحي بقطر ١٨ بوصة، ينخفض ارتفاعه ١,٨ قدم كل مساحة ٤٠٠ قدم. عين التصريف والسرعة في الماسورة عندما يكون عمق التصريف ٦ بوصة.

الحل :

الميل $S = 1,6 \div 400 = 0,004$ باستخدام مخطط ماننج، يمكن الحصول على قيمة $Q = 2900$ جالون في الدقيقة، السرعة $V = 3,8$ قدم في الثانية. نسبة التدفق الجزئي هي $18 \div 6 = 0,33$ ، من مخطط التدفق الجزئي $Q/q = 0,22$ ، $V/v = 0,82$.
لذلك $q = Q \times 0,22 = 0,22 \times 2900 = 640$ جالون في الدقيقة، $v = V \times 0,82 = 3,1$ قدم في الثانية.

قياس التدفق في القناة المفتوحة : Open Channel Flow Measurement

الطريقة التقريبية والبسيطة جداً لتعيين تصرف القناة المفتوحة هي بقياس السرعة لغرض طافي يتحرك في اتجاه مستقيم منتظم للقناة. إذا كان المقطع الهندسي معروفاً وتم قياس عمق التدفق، عندئذ فإن مساحة التدفق يمكن حسابها. من العلاقة $Q = A \times V$ ، التصريف Q يمكن تقديره.

هذه طريقة مفيدة للحصول على تقدير لمعدل التدفق كجزء من الدراسة الأولية الميدانية، ولكن ليس من المناسب للقياسات الروتينية. متوسط السرعة للتدفق يتم تقريبها بالفترة الزمنية لمرور الغرض الطافي على طول المقاس للقناة.

مثال :

تم وضع غرض طافي على سطح مياه متدفقة في قناة مياه الأمطار وتم الملاحظة لمسافة الرحلة لمسافة ١٠ متر تحت التيار في زمن قدره ٢٠ ثانية. القناة بعرض ١,٥ متر، ومتوسط العمق حوالي ٠,٥ متر. احسب التصريف في هذه الظروف.

الحل :

يتم حساب السرعة بالنسبة للمسافة والوقت

$$V = T \div D = 10 \text{ متر} \div 20 \text{ ثانية} = 0,5 \text{ متر في الثانية.}$$

$$\text{مساحة القناة } A = 1,5 \times 0,5 \text{ متر} = 0,75 \text{ متر مربع}$$

$$\text{التصريف } Q = V \times A = 0,5 \times 0,75 \text{ متر مربع} \times \text{متر/الثانية}$$

$$= 0,38 \text{ متر مكعب في الثانية.}$$

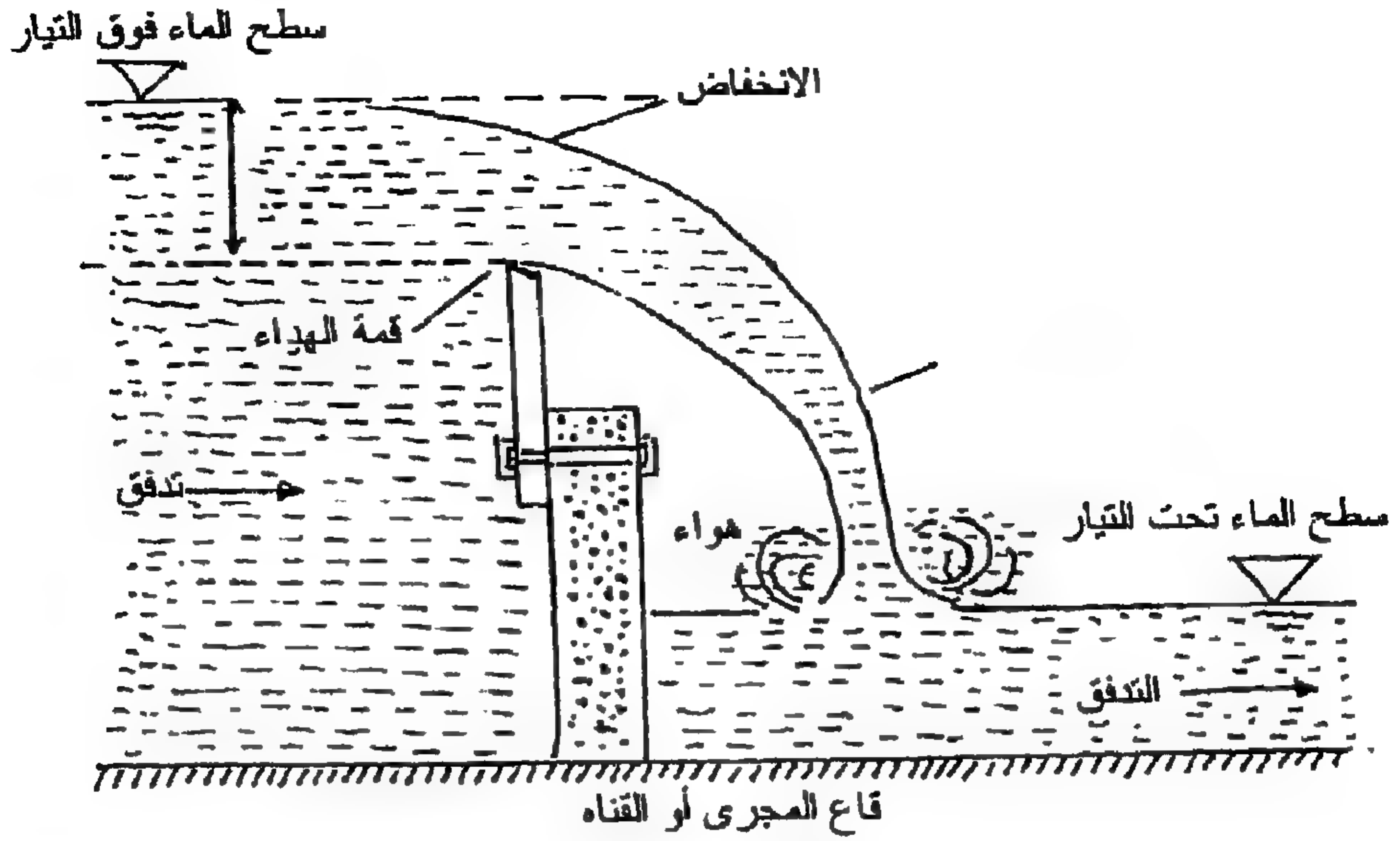
الهدارات : (Weirs)

التجهيزة المستخدمة على نطاق واسع لقياس التدفق في القناة المفتوحة هي الهدار ذو القمة الحادة (Sharp - Crested). الهدار هو في بساطة عبارة عن سد أو إعاقة موضوع في القناة بحيث أن الماء يصعد خلفه ثم يتدفق من فوقه. القمة الحادة أو الطرف الحاد يسمح للماء بالصعود صافياً على سطح الهدار والسقوط بحرية في شكل زغب كما هو موضح في الشكل (١/٢٣).

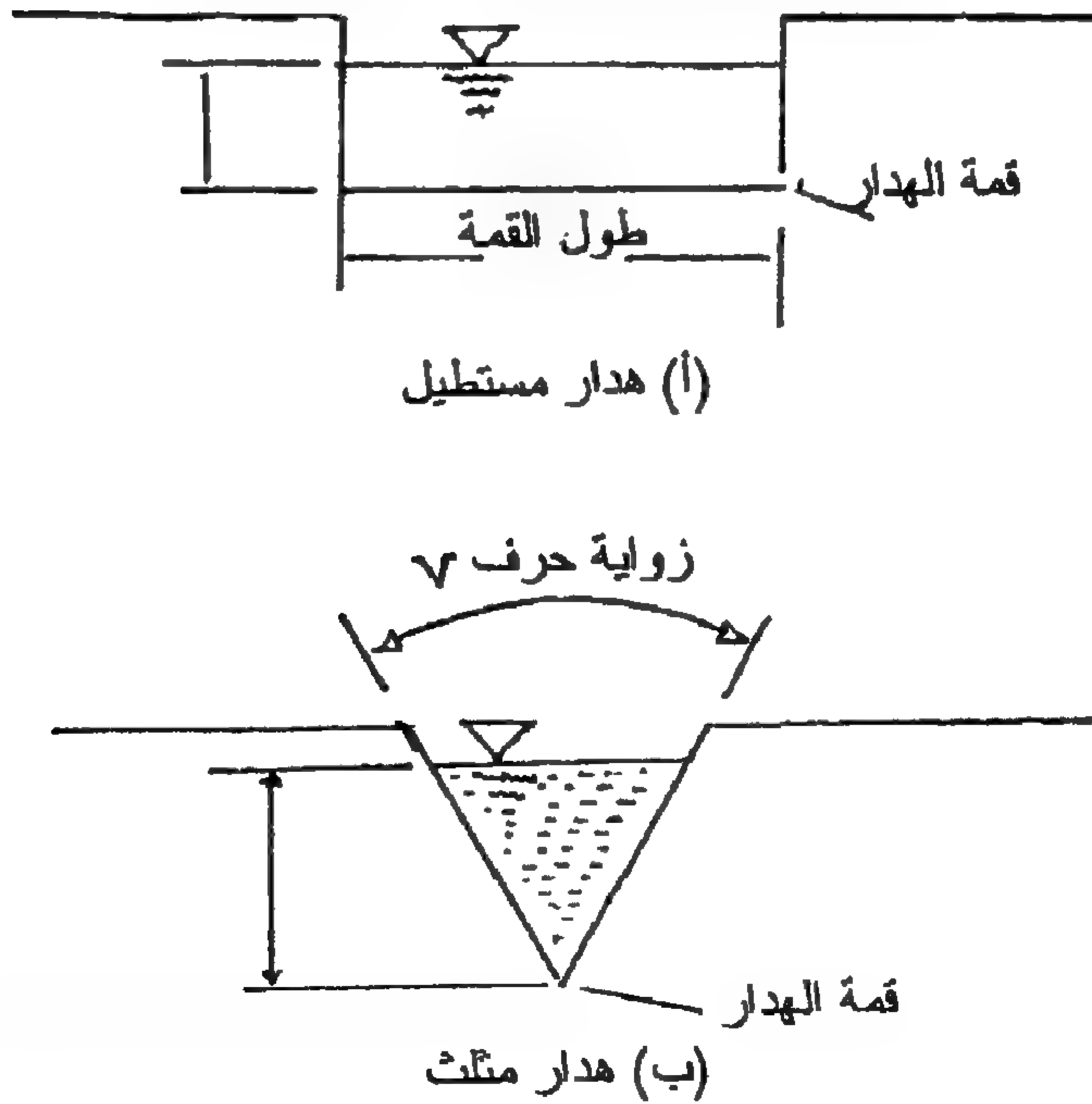
عند سقوط الماء بحرية في الهواء، فإنه توجد علاقة هيدروليكية بين الارتفاع أو عمق الماء المتدفق فوق حد الهدار ومعدل التدفق. هذا الارتفاع، المسافة العمودية بين الحد وسطح الماء تسمى الضغط (The Head) على الهدار، يمكن قياسه مباشرة بالمتر أو آلياً بتجهيزة تعمل بالطفو والتسجيل. ارتفاع الماء على الهدار (الضغط - Head) يتم قياسه من مسافة قصيرة فوق التيار الهدار لتجنب التأثير على انخفاض السطح عند مرور التدفق فوق حد الهدار.

جزء لوح الهدار الذي يتدفق الماء من فوقه يمكن أن يكون له واحد من عدة أشكال مختلفة، طبقاً للاستخدام المعين، الأشكال الأكثر استخداماً هي المستطيلة، المثلثة، ذات الشكل شبه المنحرف. الهدار المنكمش المستطيل هو الذي لا يمتد عبر كل العرض للقناة، كما هو موضح في الشكل (١/٢٤-أ). الهدارات المستطيلة تسمى كذلك هدارات الفتحة V (V- Notch)، حيث يمكن أن تكون زوايا الفتحة المثلثة ما بين ٢٢° إلى ٩٠°، ولكن الفتحات ذات الزاوية القائمة هي الأكثر استخداماً، وهذا موضح في الشكل (١/٢٤-ب).

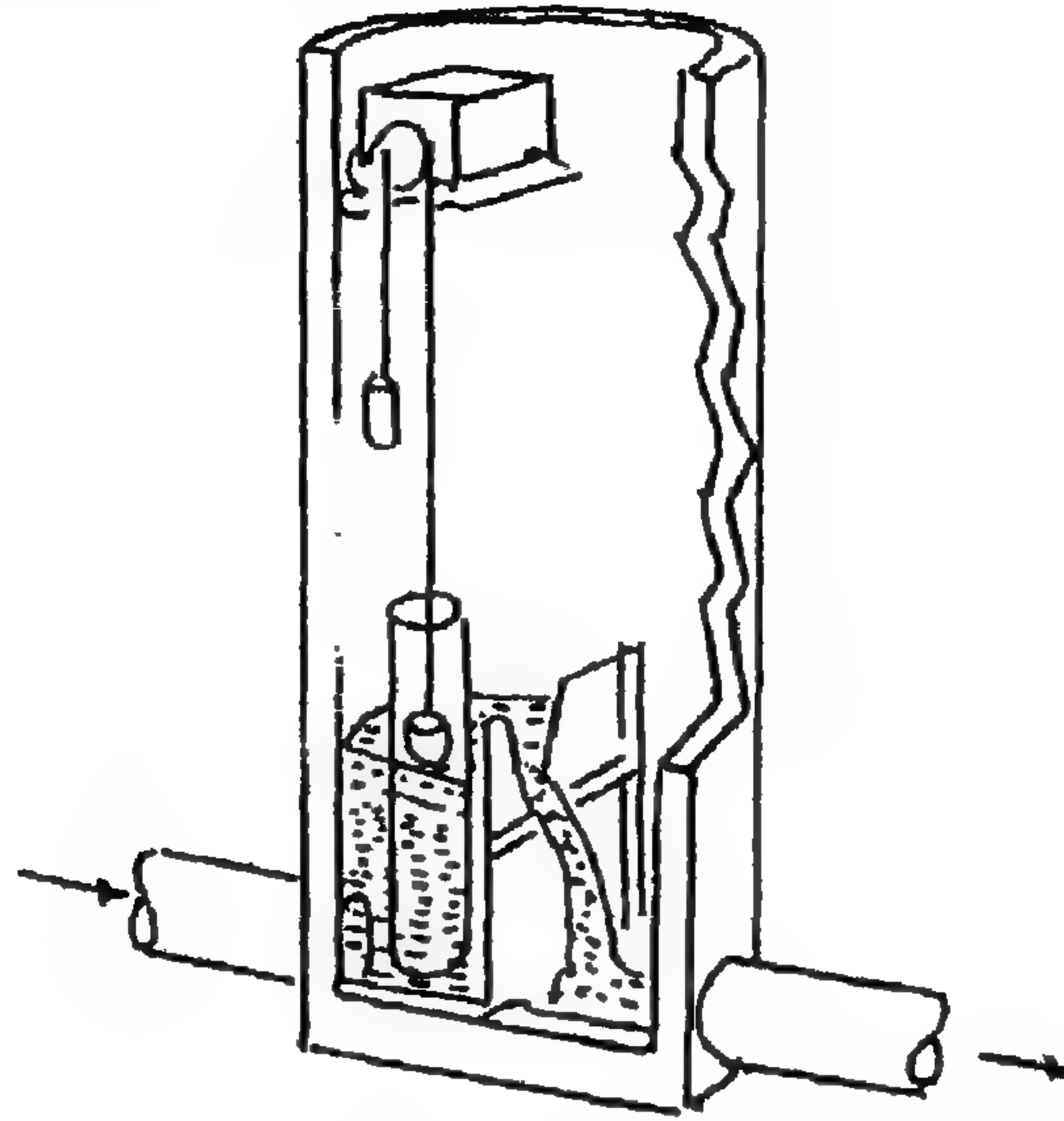
الهدار بالفتحة V يوفر القياس الدقيق للتصرفات المنخفضة أكثر من الهدار المستطيل أو شبه المنحرف. وهذه تستخدم عادة في محطات معالجة الصرف الصحي الصغيرة لرصد معدل التدفق لمياه الصرف المعالج. هدارات الفتحة V يمكن أن يتم إيلاجها في خطوط الصرف الصحي لقياس التصرفات. هذه الهدارات تصنع لتناسب مجالات كثيرة من أقطار المواسير كما يمكن أن تعلق في نهاية الماسورة في غرفة التفريش، معدل التدفق يمكن قراءته مباشرة من تدريج معاير على لوح الهدار. بالنسبة لخطوط مواسير الصرف الأكبر، أو عندما يكون المطلوب بيانات عن التدفق المستمر خلال ٢٤ ساعة، فإنه يمكن وضع هدار مؤقت في غرفة التفريش. المنشأ الذي يشمل التسجيل الآلي للمنسوب موضح في الشكل (١/٢٥). عيوب هذا النوع من أجهزة القياس هو أنه في حالة استخدامها في نظم الصرف الصحي فإن المواد الصلبة ترسب وتتراكم خلف لوح الهدار.



شكل (١/٢٣) منظر جانبي لقمة هدار حادة، تجهيزة بسيطة
تستخدم في قياس تدفق المجرى أو القناة المفتوحة.



شكل (١/٢٤) أشكال الهدارات المستخدمة عادة (أ) الهدار المستطيل،
(ب) الهدار المثلث في شكل حرف V



شكل (١/٢٥) إنشاء هدار مؤقت لقياس التدفق في مطبق صرف صحي

يوجد كثير من المعادلات، الجداول، المخططات في كتب الهيدروليكا التي تربط بين التصريف وارتفاع الماء على الهدار. معادلة بسيطة للهدار حرف V بزاوية ٩٠° هي:

$$Q = 2.5 \times H^{2.5}$$

حيث Q = التصريف قدم مكعب / الثانية

H = الارتفاع على الهدار بالقدم

مثال :

أحسب التصريف بالمتري / الثانية على هدار ٥٩٠ حرف V عندما يكون ارتفاع الماء

$$H = 100 \text{ مليمتر.}$$

الحل :

من الضروري استخدام بعض معاملات التحويل في هذه المسألة، حيث أن المعادلة

المذكورة $Q = 2.5 \times H^{2.5}$ تستخدم فقط للوحدات الأمريكية. لذلك

$$100 \text{ مليمتر} \times 1 \text{ بوصة} / 25.4 \text{ مليمتر} \times 1 \text{ قدم} / 12 \text{ بوصة} = 0.33 \text{ قدم}$$

باستخدام المعادلة السابقة

$$Q = 2.5 \times (0.33)^{2.5}$$

$$= 0.156 \text{ ft}^3/\text{sec}$$

$$Q = 0.156 \text{ ft/sec} \times 28.32 \text{ L/ft}^2 \\ = 4.4 \text{ litre/sec.}$$

المعادلة المستخدمة لحساب تدفقات الصرف فوق الهدار الشبه منحرف حيث الأجناب ذات ميل منحدر هي

$$Q = 3.4 \times b \times h^{1.5}$$

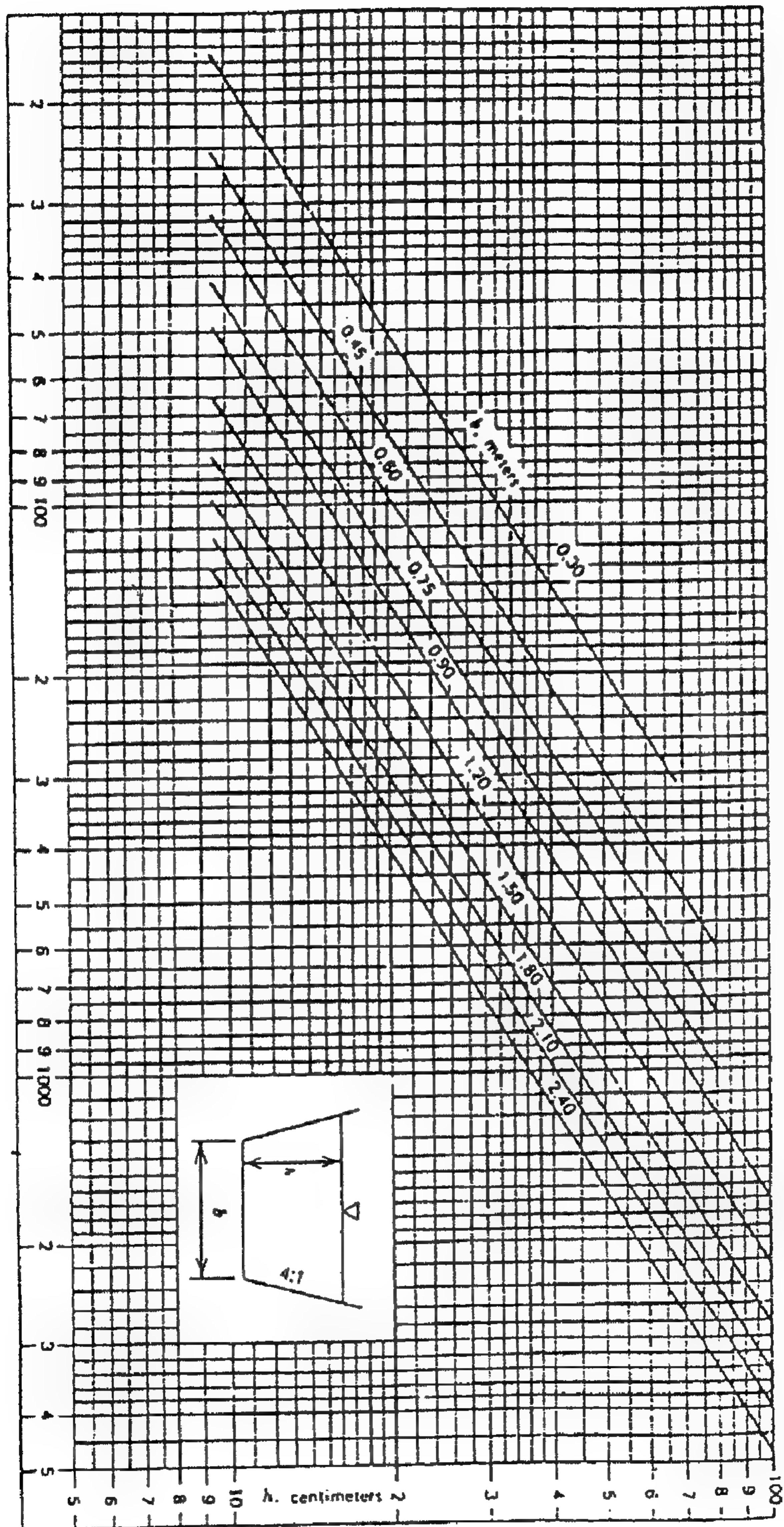
حيث :

Q = التصريف قدم مكعب في الثانية

b = عرض القاع للهدار بالقدم.

h = ارتفاع الماء على الهدار بالقدم.

مخطط للحل يمكن استخدامه كما هو موضح في الشكل (١/٢٦).



شكل (١/٢٦) مخطط التصريف لهدرات سيبوليتي

مثال :

قدر التصرف المتدفق خلال هدار شبه المنحرف بقاعدة ١٨ بوصة عندما يكون ارتفاع الماء ٩ بوصة.

الحل :

باستخدام معادلة $Q = 3.4 \times b \times h^{1.5}$ بعد تحويل الوحدات من البوصة إلى القدم، نحصل على :

$$Q = 3.4 \times 1.5 \times 0.75^{1.5}$$

$$= 3.3 \text{ ft}^3/\text{sec}$$

بعد التحويل من البوصات إلى الوحدات المترية، قارن هذه النتيجة مع تلك من الشكل (١/٢٦).

$$١٨ \text{ بوصة} = ١,٥ \text{ قدم} \times ٠,٣٠٤٨ = ٠,٤٦ \text{ متر}$$

$$٩ \text{ بوصة} \times ٢,٥٤ \text{ سم/البوصة} = ٢٣ \text{ سم}$$

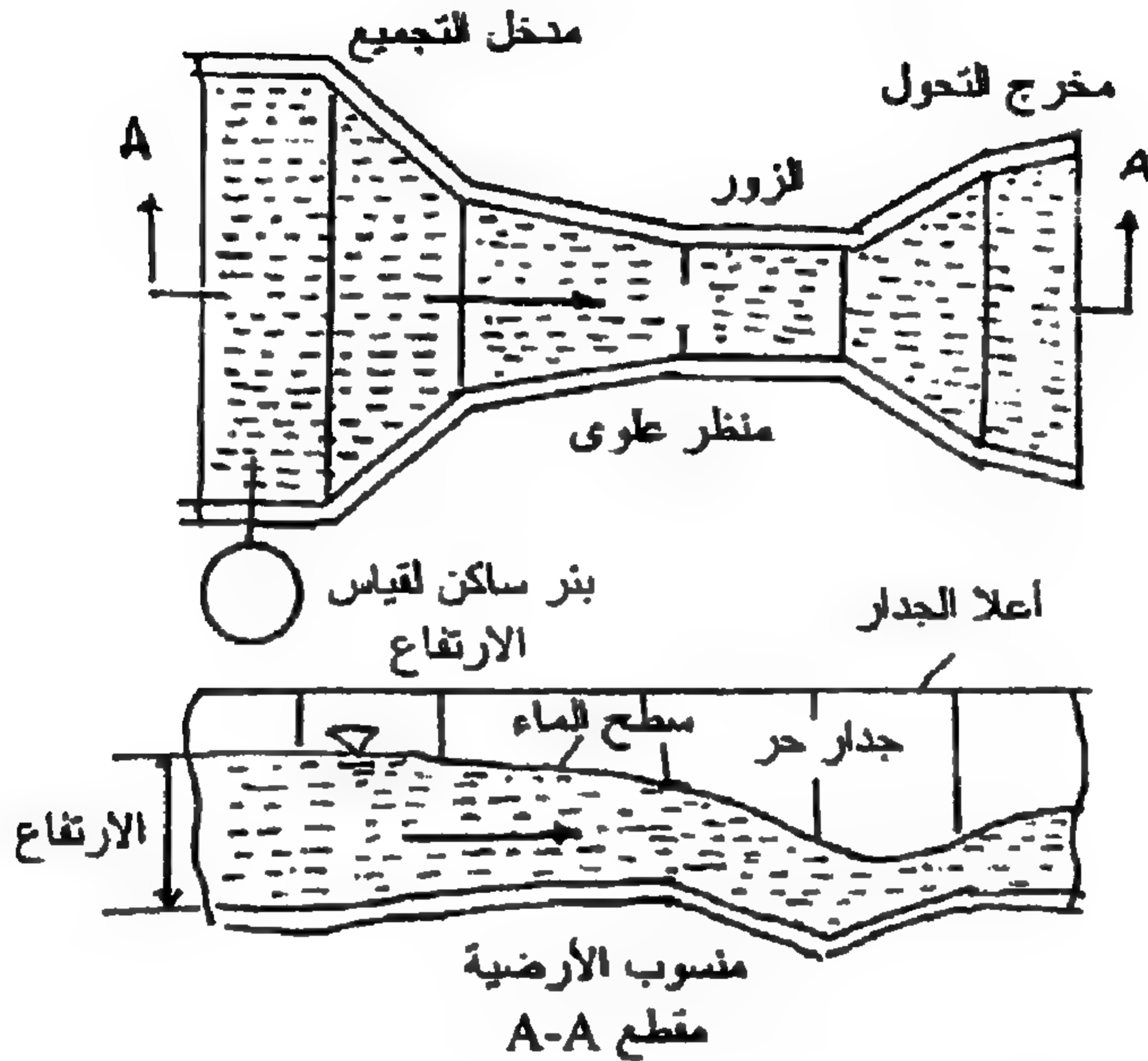
باستخدام المخطط حيث $h = ٢٣ \text{ سم}$ على اليمين، مع التحرك نحو اليسار إلى خط الميل معلم ٠,٤٥، ثم إلى أسفل نحو محور Q ، نحصل على تصرف حوالى ٩٠ لتر/ث والذي يعادل حوالى ٤٣,٢ قدم مكعب/ث. لاحظ أن الحسابات من هذا النوع هي تقريبية.

المسيل أو مجرى المياه الصناعى : (Flume)

المسيل هو مقطع فى شكل اختناق فى القناة المفتوحة (مثل أنبوبة الفنشورى فى ماسورة الضغط). الشكل الهندسى للمسيل يسبب حالة من السقوط الحر فى القناة (Free - Fall)، والتي تسمح بعمل علاقة ما بين التصرف وعمق التدفق. رغم أن هذه المسيلات أكثر تكلفة بالنسبة لإنشائها مقارنة بالهدارات، إلا أن المسيلات توفر ميزة النظافة الذاتية والتي تمنع ترسيب المواد الصلبة فى السائل. كذلك يوجد قليل من الفقد فى الضغط ولا يوجد ارتفاع للسائل فوق تيار جهاز القياس.

أحد المسيلات المستخدمة لقياس التدفق المستمر للصرف الصحى هو ميل بارشال (Parshall flume)، الموضح فى الشكل (١/٢٧). فى حالة القنوات الصغيرة يمكن إنشاء مسيلات سابقة التجهيز من الصوف الزجاجى ولكن فى حالة النظم الكبيرة يتم إنشاء المسيلات من الخرسانة التى يتم صبها فى المكان.

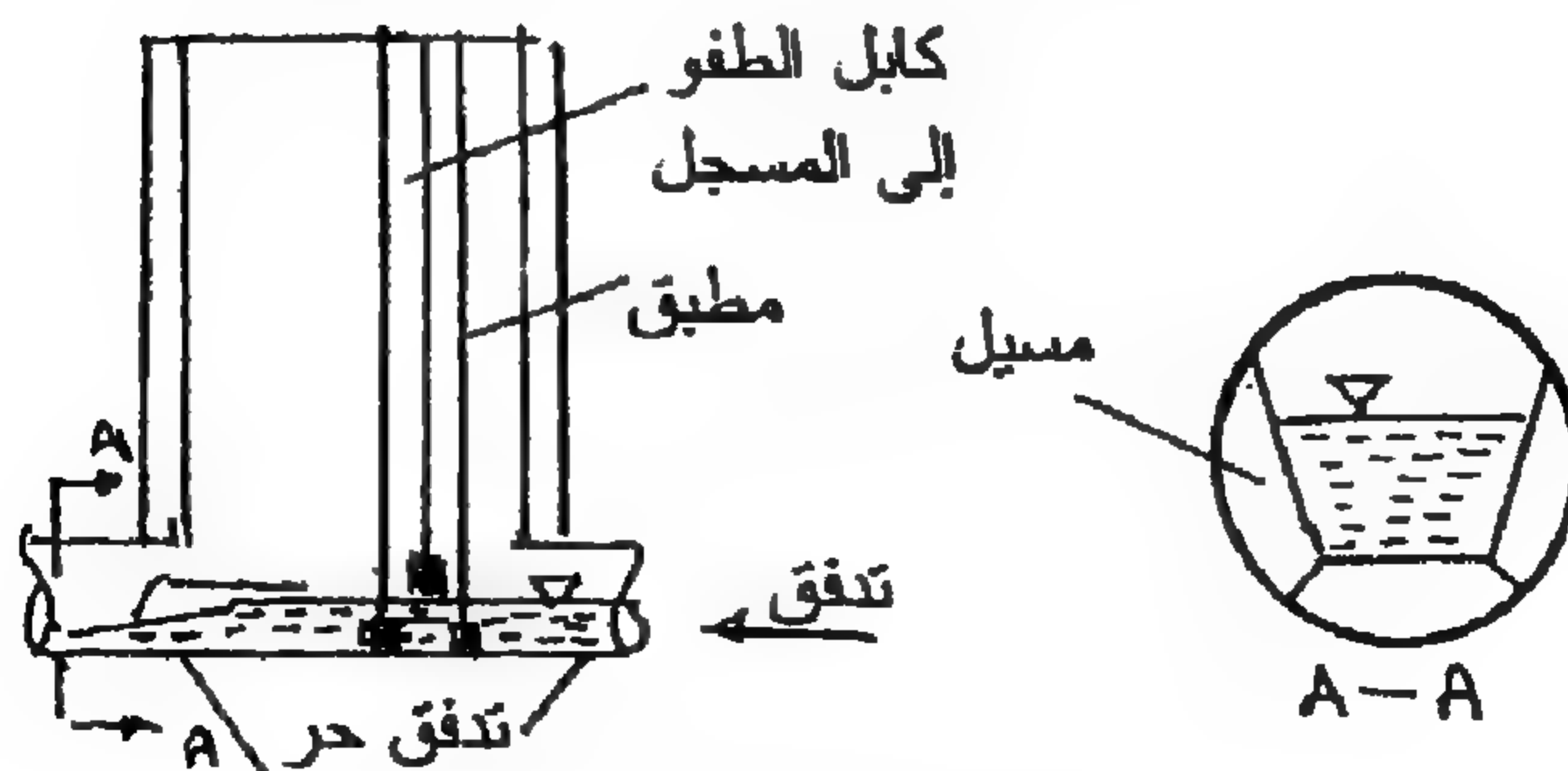
يمكن استخدام عدة جداول أو مخططات للعلاقة ما بين منسوب المياه في المسيل ومعدل التدفق. عادة تجهيزات التسجيل الآلية توفر التسجيل المستمر للتصرف بمجرد معايرة الجهاز مع الميل وتجهيزة إحساس المنسوب. نوع آخر من المسيل يسمى مسيل بالمر بولاس (Palmer - = Bowls Flume)، يمكن وضعه في قناة مستديرة أو خط مواسير كما هو موضح في الشكل (١/٢٨)



شكل (١/٢٧) يستخدم مسيل بارشال لقياس معدل التدفق في قناة مفتوحة

الحاملة لمياه الصرف الصحي، التصرف له علاقة بارتفاع

أو عمق الماء فوق التيار مباشرة لمقطع اختناق المسيل



شكل (١/٢٨) مسيل بالمر بولاس

التدفق الغير منتظم للقناة المفتوحة : Non uniform open Channel Flow

في البنود السابقة تم التركيز على التدفق المنتظم بالجانبية، أساساً في المواسير المستديرة. يوجد كثير من التطبيقات لهيدروليكا التدفق للقنوات المفتوحة في تكنولوجيا البيئة. تدفق القناة المفتوحة الذي ليس دائماً منتظماً مع الوقت أو متجانساً في مساحة المقطع كثيراً ما يتم وجوده. مثل هذا التدفق المتغير بالتدرج يحدث في المجارى الطبيعية والأنهار وكذلك في نظم الصرف الصحي وصرف مياه الأمطار. المبادئ الطبيعية والطرق الرياضية اللازمة للتحليل الكامل لمسائل التدفقات الغير منتظمة متاحة في المراجع الهندسية. وسوف يتم إعطاء نظرة مختصرة عن التدفقات المختلفة بالتدرج للتعرف على الحالات الهيدروليكية التي يمكن مقابلتها في الواقع.

كما سبق توضيحه التدفق الثابت والمنتظم يعنى الحالة الهيدروليكية حيث معدل التدفق (التصرف) ومساحة المقطع للتدفق يظلان ثابتين خلال كل طول القناة. في هذه الحالات، فإن السرعة وعمق التدفق يجب أن يظل ثابتاً، وأن خط التدرج الهيدروليكي يجب أن يوازي الميل الحقيقي للقناة (الماسورة). عمق التدفق يسمى العمق الطبيعي (Normal Depth). في حالة القنوات ذات مساحة المقطع الثابتة والتي تكون طويلة، فإن حالات التدفق تقترب طبيعياً من التدفق المنتظم والعمق يقترب طبيعياً من العمق الطبيعي، مع ثبات التصرف.

الطاقة النوعية : (Specific Energy)

القنوات لا تتدفق دائماً عند العمق الطبيعي، وخاصة قريباً من التغيرات في الميل أو التغيرات في مساحة مقطع القناة. عامل هام مرتبط بنوع التدفق في القناة يسمى الطاقة النوعية، والتي تعرف بمجموع عمق التدفق وضغط السرعة (Velocity Head) في القناة في شكل معادلة يمكن أن تكون كالآتي :

$$E = Y + V^2 / 2g$$

حيث :

$$E = \text{الطاقة النوعية، متر (قدم)}$$

$$Y = \text{عمق التدفق متر (قدم)}$$

$$V = \text{متوسط السرعة م/ث (قدم/ث)}$$

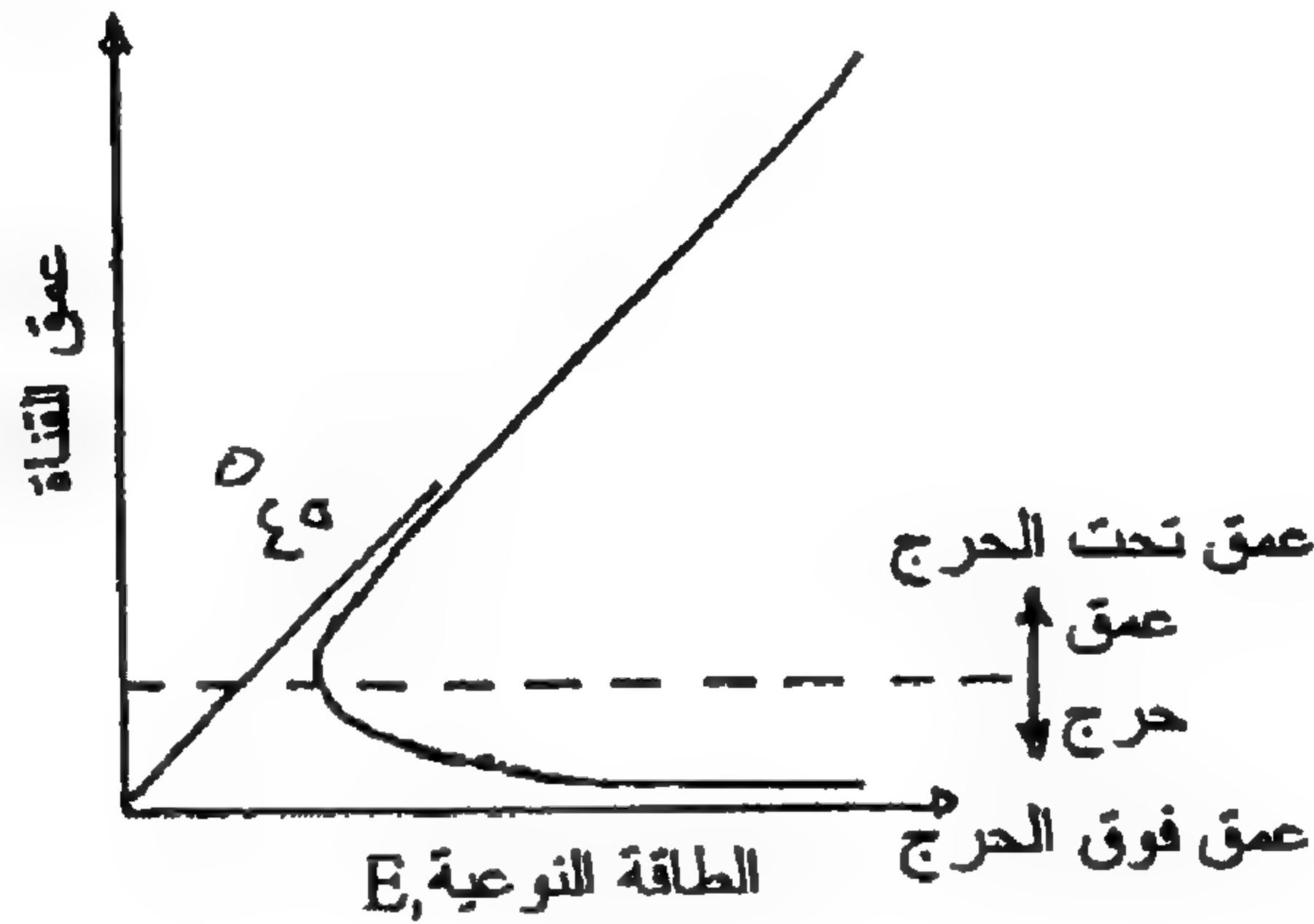
$$g = \text{عجلة الجاذبية متر / ث}^2 \text{ (قدم/ث}^2 \text{)}$$

$$V^2/2g = \text{ضغط السرعة (Velocity Head)}$$

في حالة إهمال الفقد بالاحتكاك والتغير في الارتفاع لمقطع قصير جداً للقناة، فإن الطاقة النوعية يجب أن تكون ثابتة بالنسبة لمقطعين متجاورين للقناة أو $E_2 = E_1$. وبذلك

$$y_1 + V_1^2/2g = y_2 + V_2^2/2g$$

بناءً على مبدأ استمرارية التدفق فإن سرعة التدفق تتناسب عكسياً مع مساحة التدفق، مع ثبات التصريف. كذلك، مساحة التدفق هي دلالة لعمق القناة. لذلك، بالنسبة لتصريف معين فإن الطاقة النوعية هي فقط دلالة للعمق عند كل نقطة في القناة، وأنه يمكن أن يكون هناك أكثر من عمق واحد له نفس الطاقة النوعية. وهذا موضح في الشكل (١/٢٩) والذي هو توقييع العلاقة بين عمق القناة (y) مقابل الطاقة النوعية (E) بالنسبة لمعدل تدفق ثابت.



شكل (١/٢٩)

التدفق الحرج : (Critical Flow)

من الشكل (١/٢٩) يمكن ملاحظة أنه يوجد عمق تدفق واحد الذي عنده تصل الطاقة النوعية إلى أدنى قيمة لها. وهذا يسمى العمق الحرج (Critical Depth)، والسرعة التي يحدث عندها العمق الحرج تسمى السرعة الحرجة (Critical Velocity). إذا كان العمق الحقيقي للتدفق أعلى من العمق الحرج، فإن نوع التدفق يوصف بأنه دون الحرج (Sub critical)، سرعة التدفق في التدفق دون الحرج تكون أبطأ عن السرعة الحرجة. إذا كان العمق الحقيقي للتدفق أقل من العمق الحرج، فإن التدفق يتصف بأنه تدفق أعلى من

الخرج (Super Critical)، سرعة التدفق في التدفق أعلى من الحرج أسرع من السرعة الحرجة. مثاليًا الماء المتدفق سريعاً إلى أسفل من خلال ميل حاد لقناة ضحلة يحدث له تدفق أعلى من الحرج، بينما الماء المتدفق ببطء في قناة عميقة نسبياً على ميل متوسط تكون في حالة تدفق أدنى من الحرج.

التغير التدريجي للتدفق :

عندما يكون التدفق ثابتاً وأن يكون التغير في العمق على طول القناة مهماً، فإن العمق الثابت للماء هو العمق الطبيعي للتدفق. في كثير من الحالات في نظم الصرف الصحي والمنشآت الهيدروليكية الأخرى، كذلك في المجارى الطبيعية أو الأنهار، يمكن أن توجد بعض الحالات التي تمنع عمق الماء من أن يكون مساوياً للعمق الطبيعي خلال كل الطول للقناة. فمثلاً، وجود اختناق عند نهاية خط مواسير الصرف قد يجبر العمق ليكون فوق العادي عند تحت التيار للماسورة، في مثل هذه الظروف، فإن المهندس يجب أن يكون قادراً على حساب ارتفاعات الماء فوق التيار، أو التدرج الهيدروليكي لتأكيد عدم حدوث فيضان أو زيادة تحميل خط المواسير. عندما يكون الفرق في عمق الماء من أحد نهايات القناة المفتوحة إلى أخرى يكون واضحاً، فإن التدفق يتصف بأنه تدفق متغير تدريجياً، حيث يلزم أداء هندسي متقدم. والقناة تنقسم إلى عدد من الأطوال الصغيرة أو الأجزاء ويتم تحليل كل جزء أو قطاع منفصلاً. الخطوة الأولى هي بتعيين نوع التدفق المتوقع حدوثه في جزء القناة (أو في ماسورة التدفق بالجاذبية). هذا التعيين مبني على ميل القناة، العمق الطبيعي، العمق الحرج المحسوب، والتحكم في الحالات الهيدروليكية تحت التيار أو الظروف المحيطة.

أنواع الميل : (Slope Classification)

العمق الطبيعي والعمق الحرج يمكن حسابه للمقطع باستخدام المعادلات الهندسية المناسبة. إذا كان العمق الطبيعي أعلى من العمق الحرج، فإن الميل يكون لطيفاً ومعتدلاً. إذا كان الميل الطبيعي مساوياً للميل الحرج، فإن الميل يكون حرجاً. إذا كان الميل الطبيعي مساوياً للميل الحرج، فإن الميل يكون حرجاً. إذا كان الميل الطبيعي أقل من الميل الحرج، فإن الميل يكون حاداً.

تقسيم الشكل العام للتدفق : (Flow Profile Classification)

توجد ثلاث مناطق للتغير التدريجي للتدفق كالاتي :

١- المنطقة رقم ١: العمق الحقيقي للتدفق يكون أعلى من كل من العمق الطبيعي والعمق الحرج.

٢- المنطقة رقم ٢: العمق الحقيقي للتدفق يكون ما بين العمق الطبيعي والعمق الحرج.

٣- المنطقة رقم ٣: العمق الحقيقي للتدفق يكون أقل من كل من العمق الطبيعي والعمق الحرج.

عند تعيين التقسيم للميل ومنطقة التدفق، فإن الشكل العام للتدفق يمكن معرفته (الشكل العام للتدفق، هو منظر جانبي للتدفق، موضعا القاع المستقيم للقناة وسطح الماء المنحني، مقارنة بشكل المقطع).

يوجد عدد من تقسيمات شكل التدفق. من المهم معرفة شكل التدفق لإمكان التعامل مع حسابات التدرج الهيدروليكي. بعض من أنواع أشكال التدفق المختلفة موضح في الشكل (١/٣٠). في الشكل (٣٠ /) الخطوط المتصلة تمثل سطح الماء الحقيقي، الخطوط ذات التهشير الصغير تمثل العمق الطبيعي المحسوب، والخطوط ذات التهشير الكبير تمثل الأعماق الحرجة المحسوبة. معرفة نوع الشكل العام للتدفق ومكان العمق الحقيقي للماء، يمكن المهندس من تعيين ما إذا كان التدفق تحت الحرج أو فوق الحرج.

بغرض منع السرعات الزائدة التي يمكن أن تسبب بربى في المواسير أو القنوات، فإن معظم مواسير الصرف الصحي تصمم بالميل المعتدلة لتحمل التدفقات تحت الحرجة. هذا يعني أن التحكم الهيدروليكي هو عند طرف فوق التيار للمقطع والحسابات تستمر في إتجاه تحت التيار. عندما يكون عمق التدفق فوق العمق الطبيعي (المنطقة ١) في الميل المعتدل فإن شكل التدفق يكون في شكل (M1). حساب ارتفاعات الماء فوق التيار (التدرج الهيدروليكي) للشكل (M1) يسمى التحليل الخلفي للماء (Back Water Analysis). عندما يكون عمق التدفق بين العمق الحرج والطبيعي (المنطقة ٢)، على الميل المعتدل، فإن الشكل العام يكون في الشكل (M2). حساب التدرج الهيدروليكي للشكل (M2) يسمى تحليل الانخفاض (Draw - Down Analysis). عند حدوث تدفقات فوق الحرجة فإن المقطع الحاكم يكون عند نهاية فوق التيار، المجري (الماسورة) والحسابات تتقدم في اتجاه تحت التيار. هذا النوع من الحسابات يسمى تحليل أمامي للماء (Front Water Analysis).

التدفق السريع التغير : (Rapidly Varied Flow)

فى بعض حالات التدفق بالجاذبية، فإن أنواع الشكل للتدفق تختلط فى قطاع المجرى (الماسورة). التدفق المضطرب سريع التغير يمكن أن ينتج من التغير المفاجئ فى الميول فوق التيار وتحت التيار. مثال عادى للتغير السريع للتدفق هو القفز الهيدروليكي (Hydraulic Jump)، الذى يحدث عند مرور التدفق من حالة فوق الحرج إلى حالة تحت الحرج. الشكل (١/٣١) يوضح القفز الهيدروليكي لقناة ذات ميل حاد، حيث الشكل S_2 يحدث له تغير مفاجئ إلى الشكل S_1 .

فى خطوط مواسير مياه الأمطار، كمثال، يحدث القفز الهيدروليكي عند الصرف من ماسورة ذات ميل حاد إلى حالة ارتداد الماء (Tail Water Condition) (أى حالة تحت التيار الهيدروليكي التى تكون بسبب اختناق فى المجرى أو إعاقة مثل الهدار أو حالة تسبب ارتداد التدفق. الشكل (٢/٣١) يمثل هذه الحالة. يوجد فقد فى الطاقة مصاحباً للقفز الهيدروليكي بسبب كمية الاضطراب (الخلط السريع) الذى يحدث. القوى المسببة للقفز يمكن أن تسبب برى واحتكاك وتآكل، لذلك فإنه يلزم منع حدوث القفز الهيدروليكي فى شبكات مواسير الصرف. وكبديل يمكن حساب المكان المتوقع فيه حدوث القفز لتوفير الماسورة أو القناة المناسبة أو منشأ الحماية. فمثلاً، عند حدوث القفز الهيدروليكي تحت التيار لسد شكل (١/٣٢) فإنه يجب تصميم حزام وبنائه لمنع حدوث البرى لقاع المجرى.

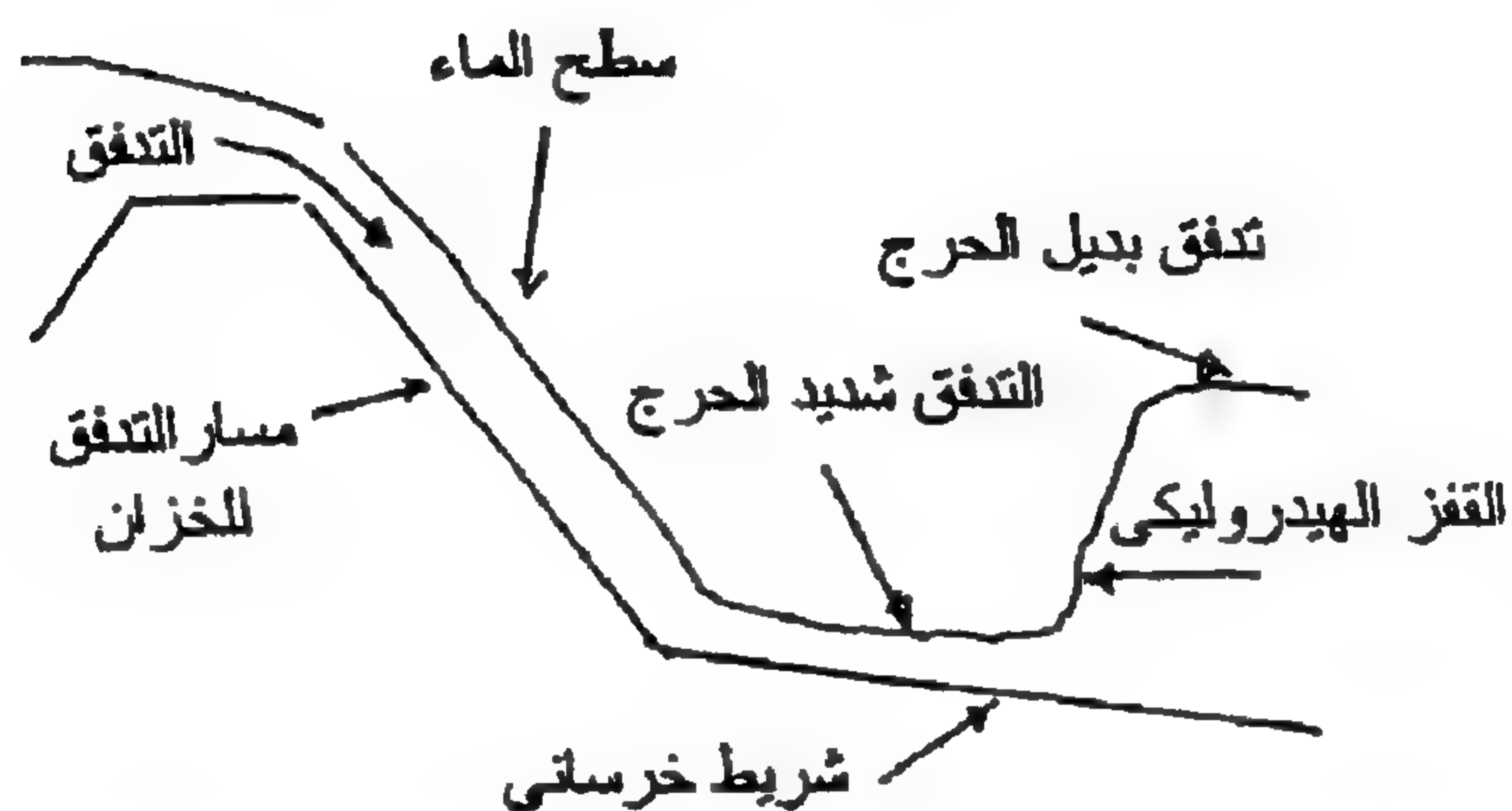
	المنطقة (١) اشكال التدفق	المنطقة (٢) اشكال التدفق
ميل		
ميل حاد		

شكل (١/٣٠) مثال لتقسيمات شكل التدفق. هنا Y_a هو العمق الحقيقى،

Y_c العمق المحسوب.



شكل (١/٣١) في القفز الهيدروليكي، يتغير التدفق فجأة من تدفق شديد الحرج إلى تدفق بديل الحرج ويزداد عمق التدفق خلال جزء صغير من القناة.



شكل (١/٣٢) مكان القفز الهيدروليكي أسفل السد (الخزان) يجب تعيينه لتصميم الطبقة الخرسانية للقاع.

الفصل الثانى

نوعية المياه : (Water Quality)

موضوع نوعية المياه يركز على وجود مواد غريبة فى الماء وتأثيراتها على الإنسان أو البيئة المائية. الماء ذو النوعية الجيدة لغرض ما يمكن أن يكون ذو نوعية رديئة لأغراض أخرى. فمثلا الماء المناسب للسباحة قد يكون ليس بالنوعية الجيدة للشرب. وحتى فإن مياه الشرب قد لا تكون مناسبة لاستخدام صناعى معين والذي يتطلب مياه أكثر نقاء. ما هو الماء النقى تماما؟ وكذلك كيف يكون نقاء الماء للشرب وللخدمات الأخرى؟ أنه لا يكفى فقط وصف الماء بصفة جيد أو رديء، حيث يلزم بعض الإجراءات الكمية لتعيين ووصف حالة الماء. من الضروري تعيين ما هى المواد التى فى الماء وبأى تركيز، وكذلك معرفة المعلومات عن تأثيرات هذه المواد على الصحة العامة وعلى البيئة. وأخيرا معرفة بعض المعايير التى يتم بها مقارنة نتائج التحاليل وبذا يمكن تقدير ملائمة الماء لاستخدام معين.

الماء له ميل طبيعى لإذابة المواد الأخرى، لهذا فإنه نادرا ما يوجد فى الطبيعة فى الحالة النقية. حتى ماء العيون الطبيعية فى الجبال بعيدا عن وجود تجمعات سكانية فإنه يحتوى على بعض الملوثات الطبيعية المذابة والعالقة. التغيرات فى نوعية المياه تبدأ مع ترسيبات الأمطار. مع هطول الأمطار خلال المجال الجوى فإنها تلتقط جسيمات ترابية وغازات مثل الأكسجين وثنائى أكسيد الكربون. فى بعض المناطق الصناعية تتغير نوعية مياه الأمطار بدرجة كبيرة قبل وصولها إلى سطح الأرض. المطر الحمضى هو المثال الواضح لهذا هو.

تدفقات مياه السطحية تلتقط جسيمات من التربة، البكتريا، مواد عضوية وأملاح معدنية قابلة للذوبان فى الماء. المياه الجوفية عادة تحتوى على أملاح معدنية مذابة أكثر من المياه السطحية ذلك لفترة التصاقها الطويلة مع التربة والصخور. وأخيرا تتأثر نوعية المياه كثيرا بالأنشطة الأدمية بما فيها استخدامات الأرض (مثل الزراعة) والصرف المباشر للمخلفات المنزلية والصناعية فى البيئة.

حماية نوعية المياه وإعداد المياه لاستخدام معين هو من الأهداف الأساسية فى مجال دراسة تكنولوجيا البيئة.

١- أساسيات كيمياء الماء :

دراسة نوعية المياه والحماية من التلوث يتطلب معلومات أساسية عن الكيمياء، وهو العلم الذي يتعامل مع مكونات وخواص المواد. وسوف يفيد من يحتاج إلى زيادة المعرفة وكذلك تذكراً من لدية المعرفة في هذا المجال.

العناصر والمركبات : (Elements and Compounds)

كل مادة تتكون من مواد أساسية تسمى العناصر، والتي لا يمكن تقسيمها أو تفتيتها إلى مواد أصغر بالتغير الكيماوى العادى. أصغر جزء للعنصر الذى يمكن أن يوجد ويحتفظ بنفس الخواص الكيماوية لهذه المادة يسمى الذرة. يوجد أكثر من ١٠٩٠ عنصراً معروفاً. بعض من العناصر العادية مع الرموز المستخدمة فى المعادلات الكيماوية موضح فى الجدول التالى :

جدول (٢/١) العناصر العادية ورمزها الكيماوى ووزنها الذرى :

العنصر	الرمز	الوزن الذرى	العنصر	الرمز	الوزن الذرى
ألومنيوم	Al	٢٧	الزئبق	Hg	٢٠١
الزرنيخ	As	٧٥	النيتروجين	N	١٤
الباريوم	Ba	١٣٧	الأكسجين	O	١٦
الكاديوم	Cd	١١٢	الفوسفور	P	٣١
الكالسيوم	Ca	٤٠	البوتاسيوم	K	٣٩
الكربون	C	١٢	السيلينيوم	Se	٧٩
الكلور	Cl	٣٥	السليكون	Si	٢٨
الكروم	Cr	٥٢	الفضة	Ag	١٠٨
النحاس	Cu	٦٤	الصوديوم	Na	٢٣
الفلور	F	١٩	الكبريت	S	٣٢
الهيدروجين	H	١	الزنك	Zn	٦٥
الحديد	Fe	٥٦			
الرصاص	Pb	٢٠٧			
المغنسيوم	Mg	٢٤			
المنجنيز	Mn	٥٥			

يرتبط علم الكيمياء كذلك بكيفية تفاعل واتحاد العناصر مع بعضها، مكونة المركب الكيماوى. المركبات هى مواد من مجموعات مختلفة من مختلف العناصر. أصغر جزء من المركب الكيماوى الذى يمكن أن يوجد ويحتفظ بنفس الخواص الكيماوية لهذا المركب يسمى الجزيئ (Molecule).

الجزئيات يمكن تمثيلها باستخدام مجموعات من الرموز للذرات في الجزيء، مثل هذا التجميع يسمى الرمز الكيماوى أو المعادلة الكيماوية. فمثلاً جزيء واحد من الماء يتكون من ذرتين من الهيدروجين (H) وذرة واحدة من الأكسجين (O)، ورمز الكيماوى (H_2O). الرقم ٢ بعد الهيدروجين يبين أن هناك ذرتين من الهيدروجين في جزيء الماء. الرمز الكيماوى لمركب أكسيد الحديد والذي يسمى عادة الصدا هو (Fe_2O_3)، والذي يبين أن هناك ذرتين من الحديد وثلاث ذرات من الأكسجين في جزيء واحد من المركب. يوجد مئات الآلاف من المركبات المعروفة، وهما منقسمين إلى قسمين رئيسيين هما المركبات العضوية والمركبات الغير عضوية. المركبات العضوية هي جزيئات معقدة للكربون المتحد مع عناصر أخرى، مثل الهيدروجين والأكسجين.

المركبات الغير عضوية عادة لا تحتوى على الكربون، وأن كان هناك استثناء فى ذلك. عموماً المركبات العضوية هي ذات علاقة قريبة بالكائنات الحية، بينما المركبات الغير عضوية هي جزء كبير من المركبات الغير حية (Inanimate). فى الجدول (٢/٢) بيان للمواد الغير عضوية العادية. كثير من هذه المركبات تستخدم فى عمليات معالجة المياه ومياه الصرف، يشمل هذا البيان الاسم الكيماوى، الاسم العادى، الرمز لكل مركب، وكذلك الحالة الطبيعية (صلب، سائل، غاز) عند درجات الحرارة والضغط العادى.

البناء الذرى : (Atomic Structure)

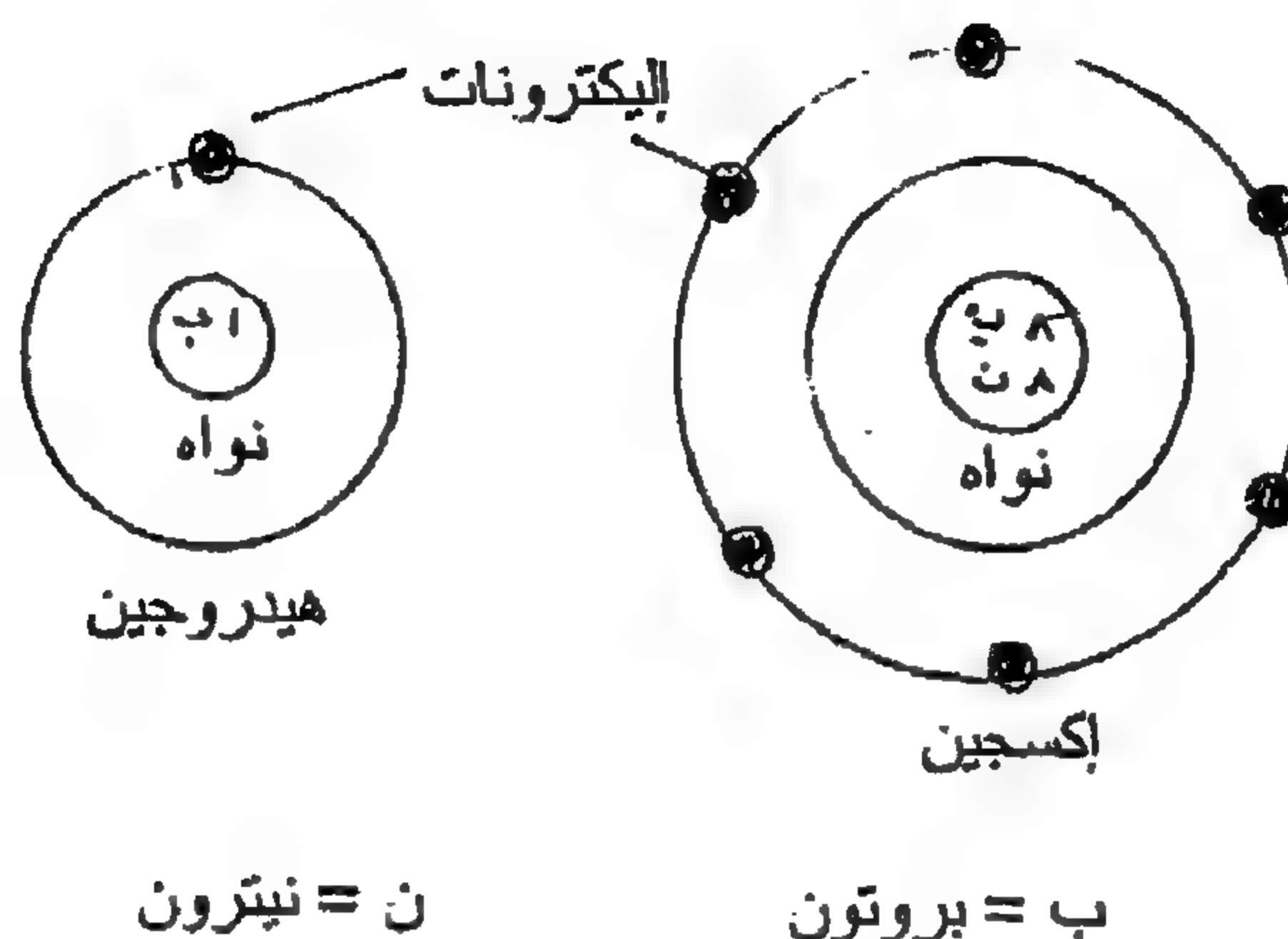
الطريقة التى تتحد بها العناصر مع بعضها لتكوين المركبات تتوقف على البناء الذرى (أو التركيب الذرى). النموذج المبسط للتركيب الذرى يشمل المركز الكثيف أو النواة (Nucleous) ذات جسيمات موجبة الشحنة تسمى البروتونات وجسيمات ليس لها شحنة أو متعادلة تسمى النيوترونات. الجسيمات الدقيقة جداً ذات الشحنة السالبة تسمى الإليكترونات تدور حول النواة فى مسارات متحدة المركز (Concentric). لتوضيح النموذج الأساسى للتركيب الذرى، المخطط الذرى الهيدروجين وذرة الأكسجين موضح فى الشكل (٢/١).

الطريقة الوحيدة لمعرفة العنصر هي بعدد البروتونات فى نواة ذلك العنصر، والذي يسمى الرقم الذرى (Atomic Number). كل عنصر له رقم ذرى مختلف.

جدول (٢/٢) المركبات الغير عضوية العادية:

الاسم الكيماوى	الاسم العادى	الحالة	الرمز الكيماوى
كبريتات الألومنيوم	الشبه	صلبة	$Al_2(SO_4)_3$
أمونيا	نشادر	غاز	NH_3
كربونات كالسيوم	حجر جبرى	صلبة	$CaCO_3$
أيدروكسيد الكالسيوم	الجير المطفى	صلبة	$Ca(OH)_2$
أكسيد الكالسيوم	الجير الحى	صلب	CaO
ثانى أكسيد الكربون	-	غاز	CO_2
اول أكسيد الكربون	-	غاز	CO
الكلور	-	غاز	Cl
كبريتات النحاس	للزاج الأزرق	صلب	$CuSO_4$
أكسيد الحديد المغناطيسى	الصدأ	صلب	Fe_3O_4
الهيدروجين	-	غاز	H_2
كبريتيد الهيدروجين	-	غاز	H_2S
حامض الهيدروكلوريك	Muriatic Acid	سائل	HCl
حامض الهيبوكلورس	-	سائل	$HClO$
حامض النيتريك	-	سائل	HNO_3
أكسجين	-	غاز	O_2
أوزون	-	غاز	O_3
كربونات الصوديوم	صودا آس	صلب	Na_2CO_3
كلوريد الصوديوم	ملح الطعام	صلب	$NaCl$
أيدروكسيد الصوديوم	صودا كاوية	صلب	$NaOH$
ثانى أكسيد الكبريت	-	غاز	SO_2
حامض كبريتيك	زيت الزاج	سائل	H_2SO_4

فمثلاً، الرقم الذري للهيدروجين هو واحد (1) وللأكسجين (8). الذرات نفسها هي متعادلة كهربياً لأن عدد الإلكترونات سالبة الشحنة التي تدور في مسار حول النواة هو نفسه عدد البروتونات موجبة الشحنة داخل النواة، الشحنات الغير متماثلة يلغى كل منها الآخر أو تعادله.



شكل (٢/١) نموذج البناء الذري للهيدروجين والأكسجين الهيدروجين له

بروتون واحد في نواته، الأكسجين له ٨ بروتون و ٨ نيوترون

إجمالي عدد البروتونات زائد الإلكترونات في النواة يسمى رقم الكتلة (Mass No.) للعنصر ويساوي تقريباً الوزن الذري. كتلة الإلكترون أو وزنه صغيراً جداً مقارنة بالبروتون. فمثلاً، الوزن الذري للهيدروجين هو واحد (ذلك لأنه لا يحتوي على نيوترونات في النواة) والوزن الذري للأكسجين هو ١٦ (٨ بروتونات زائد ٨ نيوترونات).

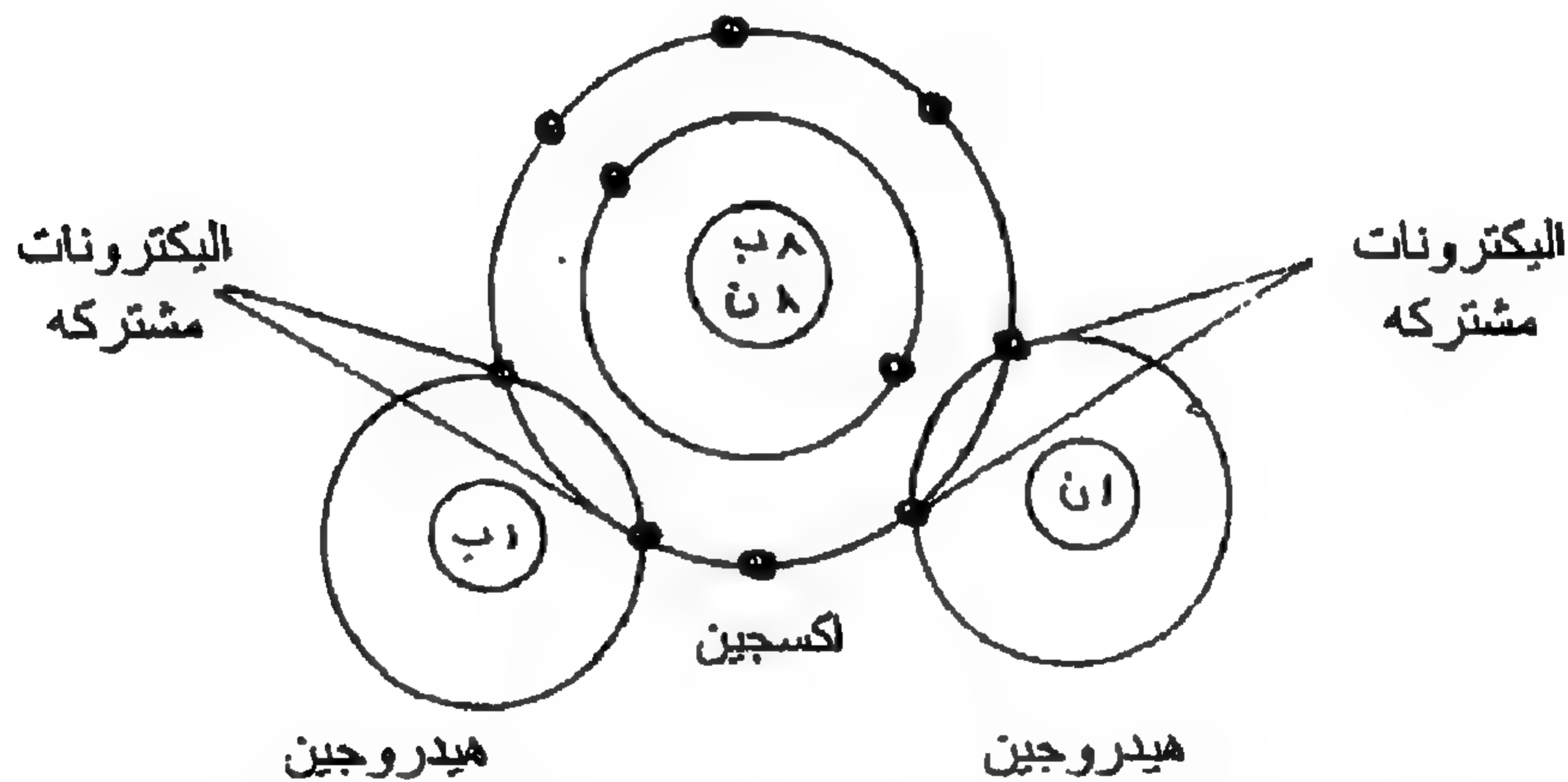
طريقة سلوك العنصر كيميائياً تعتمد أساساً على عدد الإلكترونات في المسار الخارجي. المسارات القريبة من النواة تكون مستقرة عندما يكون بها (٢) إلكترون، وهو أقصى ما يمكن أن تحتويه. المسار الثاني هو أكثر استقراراً عند احتوائه على أقصاه من ثمانية إلكترونات. الذرات الأكبر لها مسارات إلكترونية إضافية.

تكوين الجزيئات : (Formation Of Molecules)

تتكون المركبات إما بانتقال أو باقتسام الإلكترونات بين ذرتين أو أكثر. فمثلاً، كلوريد الصوديوم (NaCl) يتكون بانتقال إلكترون واحد من المسار الخارجي لذرة الصوديوم إلى المسار الخارجي لذرة الكلور. نتيجة لذلك فإن الصوديوم يكون له شحنة موجبة والكلور له شحنة سالبة. نظراً لأن الشحنات الغير متماثلة تتجذب لبعضها، فإن

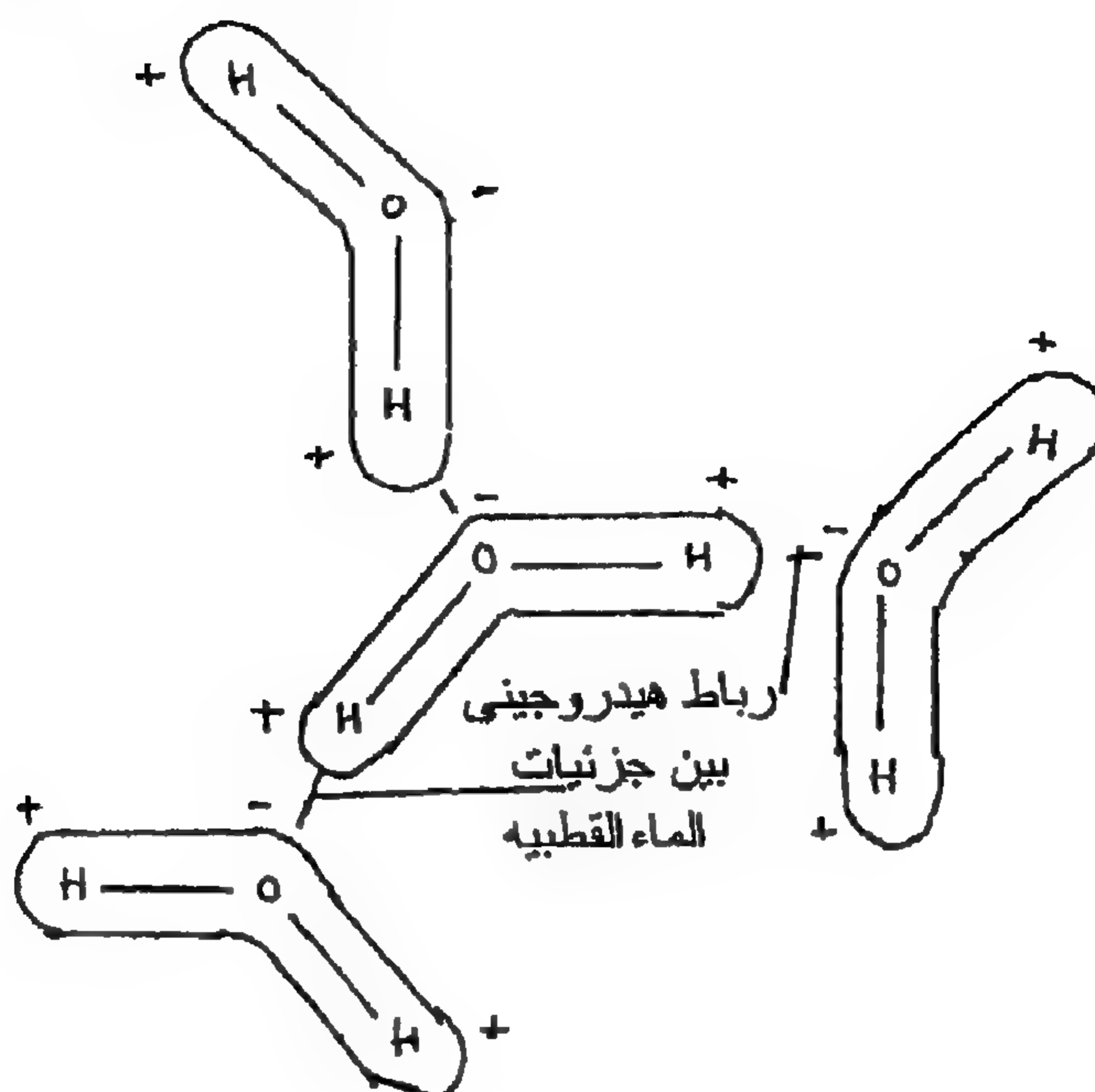
مركب (NaCl) يتكون بسبب التصاق أيونات Na^+ ، Cl^- مع بعضها. هذا مثال لما يسمى الرابطة الأيونية بين الذرات (سيتم مناقشة الأيونات فيما بعد). في حالة جزيء الماء H_2O ، فإن ذرتين الهيدروجين يقسمان الإلكتروناتهما مع ذرة الأكسجين، كما في الشكل (٢/٢). وهذا ما يسمى بالرابطة ذو التكافؤ المزدوج (Covalent Bonding). في الرابطة الأيونية يوجد انتقال كامل للإلكترونات، ولكن في رابطة التكافؤ المزدوج (Covalent) فإن المسارات الخارجية تصبح مستقرة باشتراك الإلكترونات.

الذرات في جزيء الماء تكون منظمة بزاوية بدلاً من أن تكون على استقامة واحدة، والإلكترونات المشتركة تدفع قريباً من ذرة الأكسجين نسبة إلى ذرة الهيدروجين. هذا ينتج عنه بما يسمى الجزيء الأيوني أو المستقطب (Polar molecule)، حيث لا تكون الشحنات الموجبة والسالبة ليست موزعة بانتظام. نهاية الأكسجين للجزيء تكون سالبة الشحنة ونهايات الهيدروجين تكون موجبة الشحنة. بسبب هذه الحالة الأيونية أو حالة الاستقطاب لجزيء الماء تكون معظم خواص الماء، بما فيها القدرة على إذابة مواد كثيرة أخرى. مخطط لاستقطاب جزيئات الماء والرابطة الهيدروجينية الذي يربطها معاً في حجم الماء موضح في الشكل (٢/٣).



شكل (٢/٢) جزيء الماء (H_2O) يتكون من اشتراك الإلكترونات

بين ذرة الهيدروجين والأكسجين وهذا مثال لرابطة التكافؤ



شكل (٢/٣) جزيئات الماء الملتصقة مع بعضها. سبب قوى الجذب

يسمى الرابط الهيدروجيني

المحاليل : (Solutions)

المحلول هو خليط متجانس من مادتين أو أكثر موجودتين في مجال واحد، أي في الحالة الصلبة، والسائلة والغازية. المحاليل في الماء تسمى المحاليل المائية (Aqueous solutions) وهي المألوفة لدى الناس. يمكن اعتبار ثاني أكسيد الكربون أنه مذاباً في الهواء وهذا هو المحلول الغازي. الكربون (C) والمنجنيز (Mn) يذوبان في الحديد لتكوين معدن الصلب وهذا مثال للمحلول الجامد أو الصلب (Solid).

في هذه المحاليل، المادة الموجودة بكمية أكثر تسمى المذيب (Solvent) والمادة الموجودة بكمية أقل تسمى المذاب (Solute). خواص المحاليل تختلف عن خواص المذيبات. فمثلاً، رغم أن الماء يتجمد عند درجة حرارة صفر مئوية، إلا أن وجود الأملاح المذابة مثل كلوريد الصوديوم في الماء تعمل على خفض نقطة التجمد إلى أقل من درجة الصفر المئوي. معظم التغيرات الكيميائية أو التفاعلات تحدث في المحلول. لاحظ محلول السكر في الماء الموضح في الشكل (٢/٤). جزيئات السكر المستقلة تكون منتشرة بانتظام خلال الماء ولا ترسب إلى القاع. جزيئات المادة المذابة تظل دائماً

مخلوطة بانتظام في المذيب بسبب الطاقة الحركية والحركة المستمرة لكل الجزيئات. في حالة إضافة كمية زائدة من السكر فإن المحلول سيصل إلى الحالة التي فيها لا تذوب جزيئات السكر. عند هذه النقطة فإن المحلول يسمى المحلول المشبع. درجة الحرارة لها تأثير كبير على نقطة التشبع، أي على كمية المادة المذابة التي يمكن أن تذوب في المحلول قبل أن يصير مشبعًا. معظم المواد الصلبة تكون أكثر إذابة في الماء الساخن عنه في حالة الماء البارد (فمثلاً، زيادة درجة حرارة محلول السكر - الماء سيسمح بإذابة جزيئات أكثر من السكر). بعض المواد السائلة يمكن أن تذوب في الماء بدون حدود. الكحول، مثلاً، يمكن خلطه مع الماء بجميع النسب. في حالة زيادة الكحول عن الماء فإن الكحول يعتبر عندئذ المذيب والماء هو المادة المذابة.

إذابة مختلف الغازات في الماء، مثل الأكسجين، ثاني أكسيد الكربون، والكلور لها علاقة خاصة بتكنولوجيا البيئة. كما في حالة المواد الصلبة فإن إذابة الغازات تتوقف على درجة الحرارة، ولكن العلاقة في هذه الحالة تكون عكس ذلك في حالة المواد الصلبة. إذابة الغاز تقل مع زيادة درجة الحرارة. إذابة الأكسجين لها أهمية خاصة في نوعية المياه كما يتم مناقشته بعد ذلك. قيم التشبع للأكسجين المذاب في الماء العذب عند درجات حرارة معينة موضحة في الجدول (٢/٣).

جدول (٢/٣) إذابة الأكسجين في الماء العذب

درجة الحرارة ° م	إذابة التشبع، ملجرام/لتر
صفر	١٤,٦
١٠	١١,٣
٢٠	٩,٢
٣٠	٧,٦

وهذا يوضح الإذابة المحدودة جداً للأكسجين وكذلك التأثير الواضح لدرجة الحرارة على الإذابة.

عوامل أخرى بخلاف درجة الحرارة تؤثر كذلك على إذابة الغازات. عند الارتفاعات العالية، وانخفاض الضغط الجوي، فإن إذابة الغازات تكون أقل عن تلك عند مستوى سطح البحر. كذلك، زيادة الملوحة تقلل من إذابة الغازات. فمثلاً، يمكن إذابة كمية من

الأكسجين أقل في مياه البحر عنه في المياه العذبة تحت نفس الظروف في درجة الحرارة والضغط.

التأين : (Ionization)

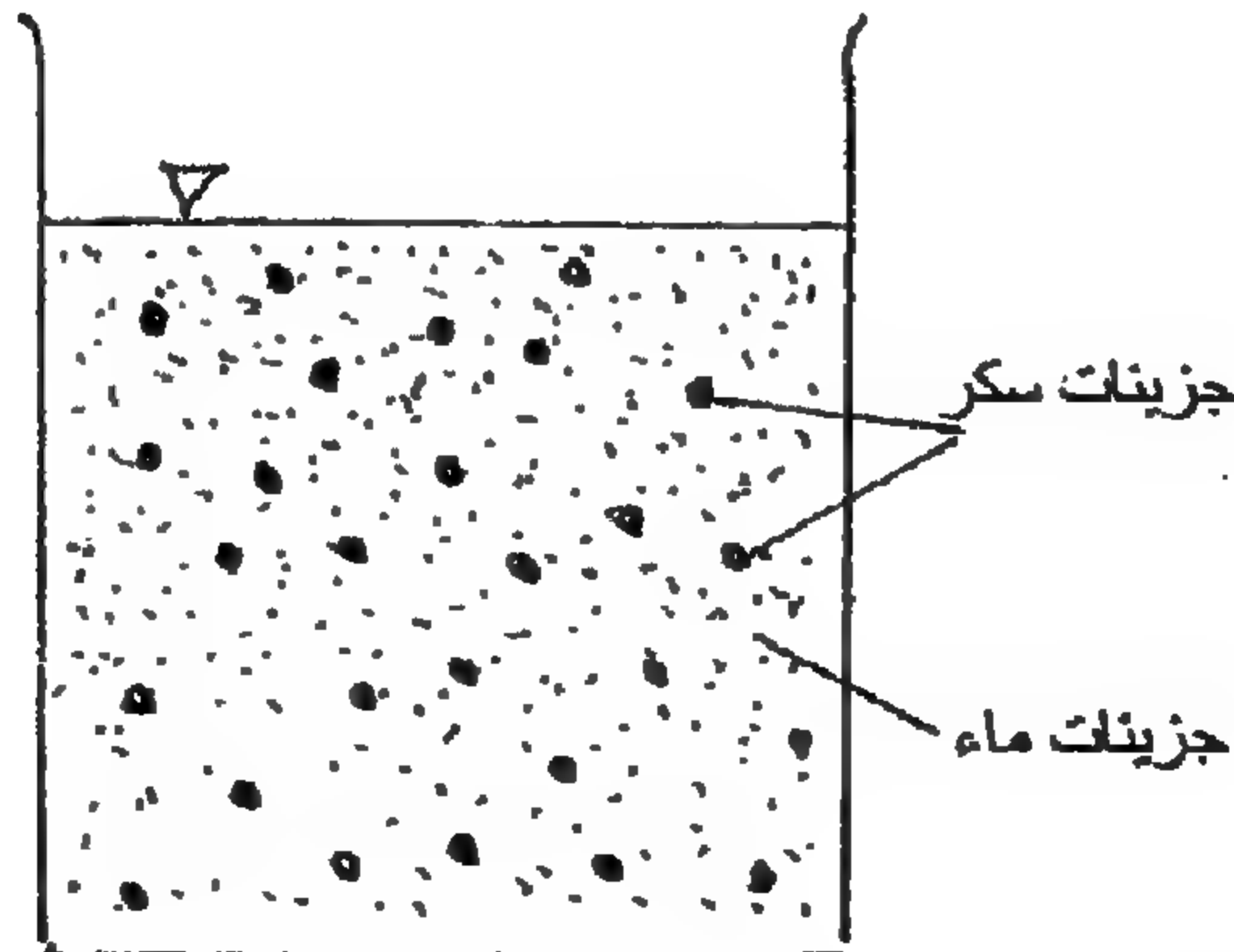
في التناول السابق لمحلول السكر المائي، حيث يوضح أن جزيئات السكر احتفظت بشحنتها، بمعنى أنها لم تنقسم إلى أقسام أصغر من جزيئات السكر. جزيئات السكر المتعادلة والتي ليس لها شحنة كهربية تظل منتشرة في المحلول، محاطة بجزيئات الماء. يوجد كثير من المواد التي تتحلل أو تتفصل عند إذابتها، مكونة جسيمات أصغر ذات شحنة كهربية تسمى الأيونات (Ions). هذه العملية هي عملية التأين.

كلوريد الصوديوم تم وصفه كمركب أيوني بسبب طبيعة الرباط الكيماوي بين أيونات (Na^+) ، (Cl^-) . يتحلل كلوريد الصوديوم في الماء كما هو موضح في المعادلة الكيماوية التالية.

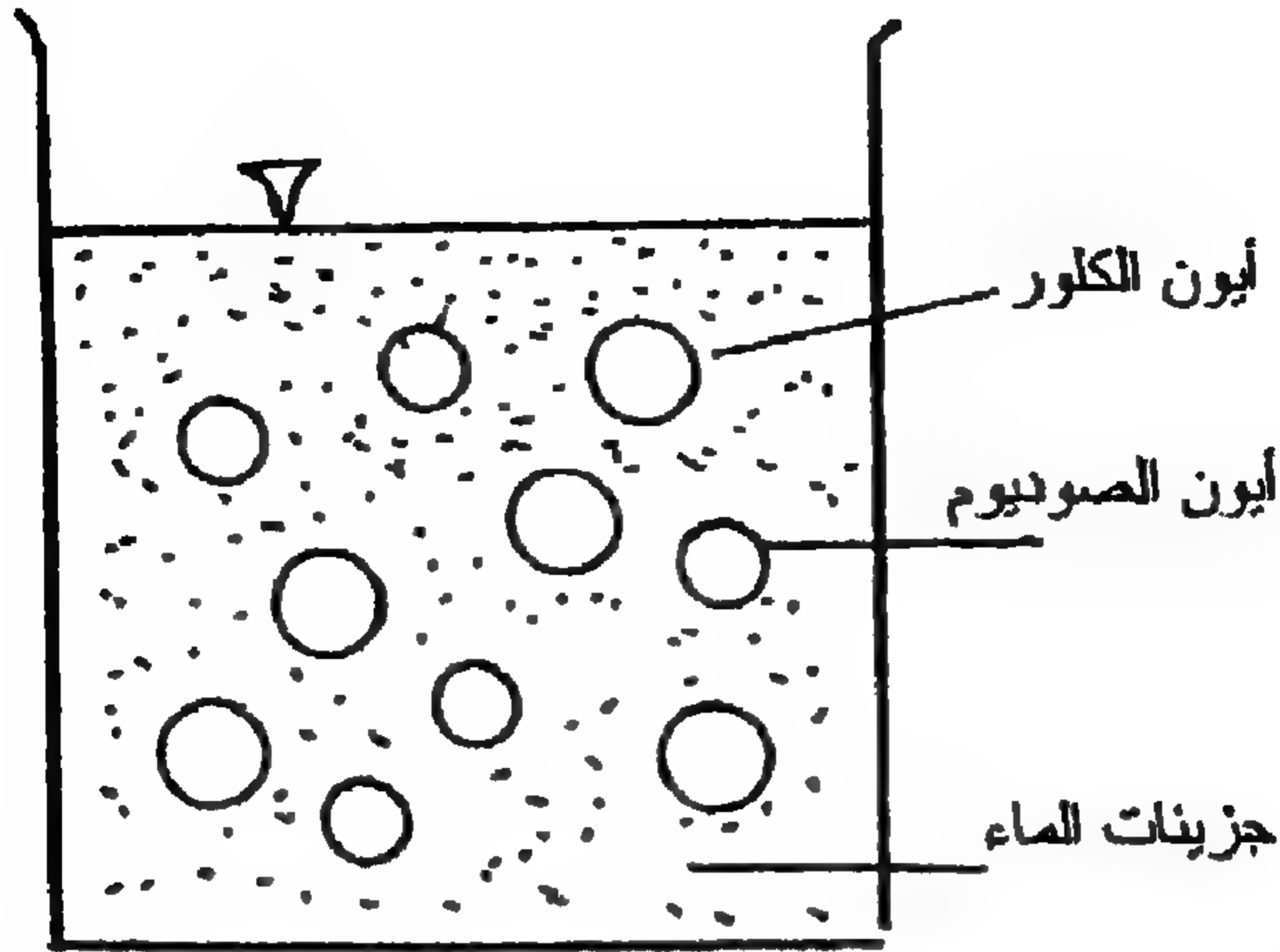


أيون كلور سالب أيون صوديوم موجب كلوريد صوديوم

أيون الصوديوم (N^+) له شحنة موجبة لأنه أعطى إليكترونه الخارجى لذرة الكلور وبذا يكون لديه بروتونات أكثر من الإلكترونات. أيون الكلوريد (Cl^-) سالب لأن لديه إليكترونات أكثر من البروتونات، حيث مساره الخارجى ثابت بالإليكترون الإضافى من ذرة الصوديوم. المحاليل الأيونية تكون متعادلة، إجمالى الشحنات الموجبة يجب أن تساوى إجمالى الشحنات السالبة فى المحلول. الشكل (٢/٥) يوضح شكل محلول كلوريد الصوديوم فى الماء.



شكل (٢/٤) مخطط لمحلول السكر. تظل جزيئات السكر منتشرة بانتظام خلال حجم الماء



شكل (٢/٥) مخطط لمحلول أيوني لكلوريد الصوديوم في الماء

الأيونات المعقدة : (Complex Ions)

في بعض الحالات، تتحلل الجزيئات إلى أجسام ذات شحنة كهربائية تتكون من مجموعات من الذرات التي تعمل معاً كوحدة واحدة. هذه الأقسام ذات الشحنة تسمى الأيونات المعقدة، وهي ذات أسماء خاصة تستخدم عادة في كيمياء المياه. فمثلاً، يمكن تحلل جزئ الماء إلى أيون الهيدروجين (H^+) وأيون الإيدروكسيد (OH^-) كالاتي :



حامض الكبريتيك هو مثال للمركب الذي يتحلل بسرعة في الماء كالاتي :



SO_4^{2-} يسمى أيون الكبريتات، فله شحنتين سالبتين والتي تعادل إجمالي الشحنة الموجبة لعدد اثنين من أيونات الهيدروجين. أيون الكبريتات المعقد يعمل كأيون بسيط، لهذا فإنه لا يتحلل إلى أقسام أصغر.

أيونات معقدة أخرى ذات أهمية في التطبيقات البيئية تشمل النترات (NO_3^-)، الفوسفات (PO_4^{2-})، الأمونيوم (NH_4^+)، الهيبوكلورايت (OCl^-). يوجد كثير آخر سيتم مناقشته لاحقاً.

العوالق والغرويات : (Suspensions and Colloids)

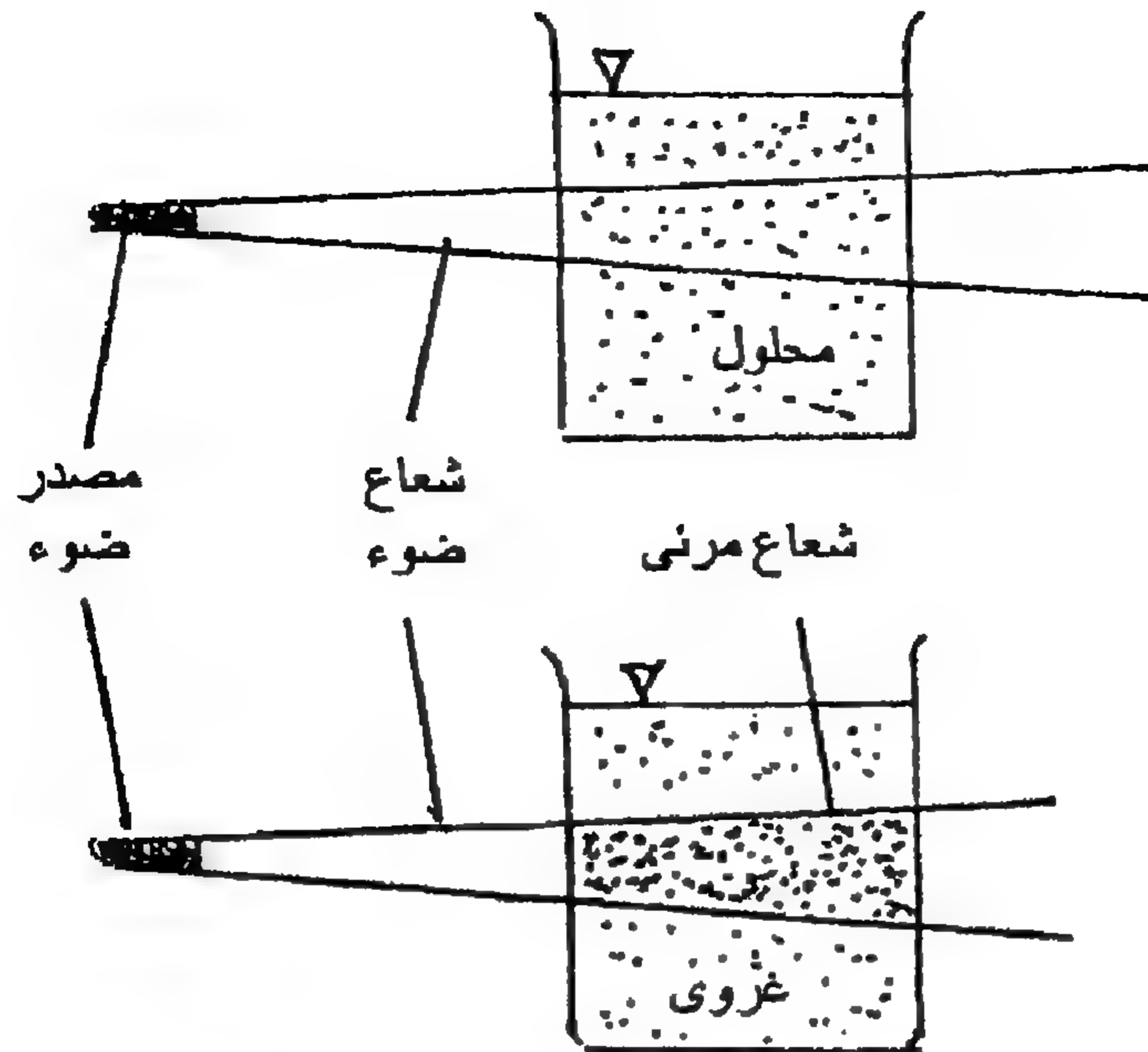
رغم أن كثيراً من المواد تكون في المحلول في الشكل الجزيئي أو الأيوني (محلول حقيقي)، فإن بعض المواد يمكن أن تكون عالقة في المخلوط في جسيمات أكبر من

الجزئيات كثيراً. خواص هذه المخاليط تختلف عن تلك للمحاليل الحقيقية ولها أهمية فى تكنولوجيا البيئة.

ربما أن أحد أهم الخواص للمحلول الحقيقى هو أن جسيمات المادة المذابة لا ترسب ولا تنفصل من المخلوط، ذلك مهما طال بقاء المحلول تحت ظروف الثبات. هذا بالإضافة إلى أن المواد المذابة لا يمكن فصلها طبيعياً من المذيب بالترشيح. مقارنة بذلك، فإن معظم الأجسام العالقة عند توفر الوقت الكافى، سوف ترسب من الماء بفعل الجاذبية. كذلك فإن المواد العالقة يمكن إزالتها من الماء بالترشيح. لهذا، فإن العوالق من مواد التربة، المواد العضوية وحتى الكائنات الدقيقة هى من بين أول الملوثات اللازم إزالتها فى نظم معالجة المياه ومياه الصرف.

العوالق ذات الأجسام الكبيرة نسبياً تسمى العوالق الخشنة. فى المياه الساكنة ترسب الجسيمات الكبيرة من الماء فى بضع دقائق. الجسيمات الدقيقة تستغرق ساعات كثيرة لترسب. حتى أن بعض البكتريا ذات الحجم حوالى ٠,٠٠١ ملليمتر أو ١ ملليمكرون ترسب نحو القاع (الميكروميتر هو واحد على مليون من المتر أو 10^{-6} من المتر). أنه يمكن استنتاج الترسيب للبكتريا رياضياً أنها سوف ترسب بمعدل حوالى ١ متر فى ١٧٥ ساعة، ولكن هذه طريقة صعبة لإزالة البكتريا من الماء. الأجسام الصغيرة جداً تلك التى أقل من ٠,١ ملليمكرون تكون صغيرة جداً بالنسبة للترسيب بفعل الجاذبية أو الإزالة بالترشيح. هذه الجسيمات اصغر من تلك الموجودة فى العوالق الخشنة ولكنها فى نفس الوقت أكبر من تلك الموجودة فى المحلول الحقيقى تسمى الغرويات (Colloids). الغرويات توجد فى الهواء وكذلك فى الماء. فى الماء، مثلاً، جسيمات الطفلة، وكذلك قطع النباتات الصغيرة المتأكلة والمخلفات العضوية يمكن أن تكون عوالق غروية. فى الهواء، العوالق الغروية من الجسيمات الصلبة الصغيرة جداً (الدخان) أو الأجسام السائلة (الضباب) يمكن مصادفتها.

مثل الأجسام فى المحلول الحقيقى، فإن الأجسام فى العالق الغروى لا يمكن رؤيتها تحت المجهر. فى المحلول الحقيقى، يمكن أن تمر حزمة من الضوء خلال المحلول بدون أى تشتت للضوء، ولكن فى العوالق الغروية فإن الأجسام الغروية يمكن أن تشتت الضوء، بما يسمح برؤية الحزمة. وهذا ما يسمى بتأثير تندال (Tyndall Effect) والذى هو أحد خواص الغرويات التى تميزها عن المحاليل. تأثير تندال موضح فى الشكل (٢/٦).



شكل (٢/٦) تأثير تئدال. الضوء يتشتت بفعل الأجسام الغروية

وشعاع الضوء يمكن رؤيته في السائل

الأجسام الغروية يمكن أن يكون لها كل الشحنات الكهربائية الموجبة أو السالبة بقيم مختلفة. طبقاً لطبيعة المادة. حيث أن الشحنات تتنافر، فإن الأجسام الغروية تحافظ على المسافة بين كل منها. توجد قوة تنافر بينها. لأن الأجسام الغروية تتنافر فإنها نادراً ما تتصادم، لذلك فليس لها الفرصة لتلتصق معاً لتكوين أجسام أكبر وأكثر كثافة. بالإضافة إلى حجمها الصغير، فإن هذا سبب أساسي في استقرارها وعدم ترسيبها. طريقة المعالجة التقليدية للمياه هي باستخدام كيماويات معينة لمعادلة تأثير الشحنات الغروية. وهذه تمكن من تصادم الأجسام والكيماويات لتكوين الزعنيات (Floc's)، والتي يمكن أن ترسب أو يمكن فصلها بالترشيح.

تقدير التركيزات : (Expressing Concentrations)

خواص المحاليل العوالق الغرويات تعتمد إلى حد كبير على تركيزاتها. المحلول المخفف أو الضعيف به نسبة قليلة من المادة المذابة في المذيب. فخواصه تختلف عن تلك ذات التركيزات العالية لنفس المادة من المذيب لوجوده بكميات كبيرة.

نظراً لأن التركيز يلزم تقديره بالكم بدلاً من النوع مثل المخفف أو المركز، فإن التركيزات يعبر عنها عادة بالكتلة في وحدة الحجم، الجزء في المليون أو المليار، النسبة المئوية.

الكتلة في وحدة الحجم : (Mass Per Unit Volume)

أحد التقديرات العادية للتركيز هو المليجرام في اللتر (Mg/L). فمثلاً إذا كانت كتلة ١٠ ملجرام من الأكسجين مذابة في حجم من الماء قيمته واحد لتر فإن تركيز ذلك المحلول يعبر عنه ببساطة ١٠ ملجرام/لتر. إذا كان ٠,٣ جرام من الملح مذاب في ١٥٠٠ سم^٣ من الماء، عندئذ فإن التركيز يكون ٣٠٠ ملجرام ÷ ١,٥ لتر = ٢٠٠ ملجرام/لتر، حيث ٠,٣ جرام = ٣٠٠ ملجرام، ١٥٠٠ سم^٣ = ١,٥ لتر (١ جرام = ١٠٠٠ ملجرام، ١ لتر = ١٠٠٠ سم^٣).

المحاليل المخففة جداً يكون من المناسب تقديرها بالميكروجرام في اللتر (μg/L). فمثلاً تركيز ٠,٠٠٤ ملجرام/لتر يفضل كتابته ٤ ميكروجرام/لتر. حيث أن ١٠٠٠ ميكروجرام = ١ ملجرام، فإنه يتم ببساطة تحريك العلامة العشرية ثلاثة أماكن نحو اليمين عند التحويل من المليجرام إلى الميكروجرام. (من Mg/L إلى μg/L). يتم تحريك العلامة العشرية ثلاثة أماكن نحو اليسار عند التحويل من الميكروجرام/لتر إلى المليجرام/لتر. فمثلاً، تركيز ١٢٥٠ ميكروجرام/لتر يكافئ ١,٢٥ ملجرام/لتر.

في الهواء، يعبر عن تركيز الجسيمات والغازات عادة بالميكروجرام على المتر المكعب (μg/m³).

الجزء في المليون (Part Per Million)

كتلة لتر واحد من الماء هي واحد كيلو جرام. ولكن واحد كيلو جرام يكافئ ١٠٠٠ جرام أو واحد مليون ميلجرام. لذلك، إذا كان ١ ملجرام (1mg) لمادة مذابة في ١ لتر من الماء، يمكن القول أن ١ ملجرام/لتر مذاب في كل واحد مليون ملجرام من الماء. بمعنى آخر يوجد واحد جزء في المليون (I ppm). مع إهمال التغير الصغير في كثافة الماء عند إذابة المواد فيها، فإنه يمكن القول أن تركيز ١ ملجرام/لتر يعادل واحد جزء في المليون (1mg/L = 1ppm). التحولات بسيطة جداً، فمثلاً في حالة التركيز ١٧,٥ ملجرام/لتر فإنه يشابه ١٧,٥ جزء في المليون.

التقدير جزء في المليون يفيد في توضيح الصورة كيف أن التركيزات صغيرة في مجال تكنولوجيا البيئة. في حالة إذابة رطل واحد من الماء في خزان ماء سعة ٥٠ قدم × ٥٠ قدم فإن تركيز الملح سيكون حوالي ١ جزء في المليون. واحد جزء في المليون هو نفسه مثل واحد بوصة في حوالي ١٦ ميل أو ثانية واحدة في ١٦ ساعة.

التركيزات المنخفضة جداً يمكن التعبير عنها بالجزء في المليار (ppb)، بدلاً من الجزء في المليون. فمثلاً تركيز ٠,٠٠٥ جزء في المليون يفضل كتابته بالمكافئ ٥ جزء في المليار. حتى مثل هذه التركيزات المنخفضة جداً لبعض المواد يمكن أن تؤثر بشدة على نوعية البيئة وصحة الإنسان. أجهزة التحاليل الحديثة يمكنها الكشف عن تلك التركيزات (واحد جزء في المليار تعادل تقريباً واحد ثانية في ٣٣ عام، أو بنس واحد في عشرة ملايين من الدولارات).

التقدير ملجرام/لتر (mg/L) يفضل عن الجزء في المليون (ppm)، تماماً مثل التقدير ميكروجرام/لتر المفضل عن ما يكافئه وهو الجزء في المليار (ppb). ولكن كلا النوعين من الوحدات مازالا يستخدمان، حيث يلزم التأقلم مع كليهما.

النسبة المئوية للتركيز : (Percentage Concentration)

التركيزات التي تزيد عن ١٠٠٠٠ ملجرام/لتر عادة تقدر بالنسبة المئوية، فمثلاً تحويل ١% = ١٠٠٠٠ ملجرام/لتر يمكن استخدامه حتى في حالة زيادة كثافة المحاليل عن ذلك للماء النقي (١٠٠٠٠ ملجرام/لتر = ١٠٠٠٠ ملجرام ÷ ١٠٠٠٠٠٠ ملجرام = ١ ملجرام ÷ ١٠٠ ملجرام = ١%).

تركيز الملح في ماء البحر هو حوالي ٣٥٠٠٠ ملجرام/لتر. لتحويله إلى نسبة مئوية يتم القسمة على ١٠٠٠٠ للحصول على ٣,٥%. تركيز حمأة مياه الصرف يمكن أن تكون ٣% مواد صلبة. لتحويل هذه إلى ملجرام/لتر يتم الضرب في ١٠٠٠٠، للحصول على ٣٠٠٠٠٠ ملجرام/لتر مواد صلبة.

$$\text{النسبة المئوية} = \frac{\text{كتلة المادة المذابة بالملجرام}}{\text{كتلة المذيب بالملجرام}} \times ١٠٠$$

الوحدات الأمريكية التقليدية :

التقدير حبيبات في الجالون (Grains per Gallon) يستخدم أحياناً لتركيزات مواد معينة في الماء. حبيبة واحدة في الجالون تعادل تركيز ١٧,١ ملجرام/لتر (1gpg = 17.1 mg/L).

التقدير أرطال في المليون جالون يستخدم كذلك في الوحدات العادية للتركيز في تطبيقات معالجة المياه. حيث أن جالون واحد من الماء يزن ٨,٣٤ رطل، ١ جالون/مليون جالون هو نفسه ٨,٣٤ رطل/مليون جالون. للتحويل من ملجرام/لتر إلى رطل/مليون جالون، اضرب في ٨,٣٤، للتحويل من رطل/مليون جالون إلى ملجرام/لتر اقسم على ٨,٣٤.

مثال :

محلول مائي حجمة ٥٠٠ سم^٣ به ١٢٥ ملجرام ملح مذاب. قدر تركيز هذا المحلول (أ) بالملجرام/لتر، (ب) بالجزء في المليون، (ج) حبيبة في الجالون، (د) نسبة مئوية، (هـ) رطل/مليون جالون.

الحل :

$$(أ) (١٢٥ \text{ ملجرام} \div ٥٠٠ \text{ سم}^٣) \times ١٠٠٠ \text{ سم}^٣/\text{لتر} = ٢٥٠ \text{ ملجرام/لتر}$$

$$(ب) ٢٥٠ \text{ ملجرام/لتر} = ٢٥٠ \text{ جزء في المليون.}$$

$$(ج) ٢٥٠ \text{ ملجرام/لتر} \times (١ \text{ حبيبة في الجالون} \div ١٧,١ \text{ ملجرام/لتر}) = ١٤,٦ \text{ حبيبة في الجالون.}$$

$$(د) \text{ باستخدام المعادلة السابقة وأن } ٥٠٠ \text{ سم}^٣ \text{ من الماء كتلتها } ٥٠٠ \text{ جرام}$$

$$\dots \text{ النسبة المئوية} = ٠,١٢٥ \text{ جرام} \div (٥٠٠ \text{ جرام} \times ١٠٠) = ٠,٠٢٥\% \text{ أو اقسم}$$

$$٢٥٠ \text{ ملجرام/لتر} \div ١٠٠٠٠ \text{ لتحصل على } ٠,٠٢٥\%.$$

$$(هـ) ٢٥٠ \text{ ملجرام/لتر} \times ٨,٣٤ = ٢٠٩٠ \text{ رطل/مليون جالون.}$$

مثال :

كم عدد الأرطال من غاز الكلور يلزم إذابتها في ٨ مليون جالون من الماء للحصول على تركيز ٠,٢ ملجرام/لتر؟

الحل :

٠,٢ ملجرام/لتر $\times 8,34 = 1,67$ رطل/ مليون جالون.

و ١,٦٧ رطل/ مليون جالون $\times 8$ مليون جالون = ١٣ رطل.

الأحماض، القلويات، الرقم الهيدروجيني Acids, Bases, and pH

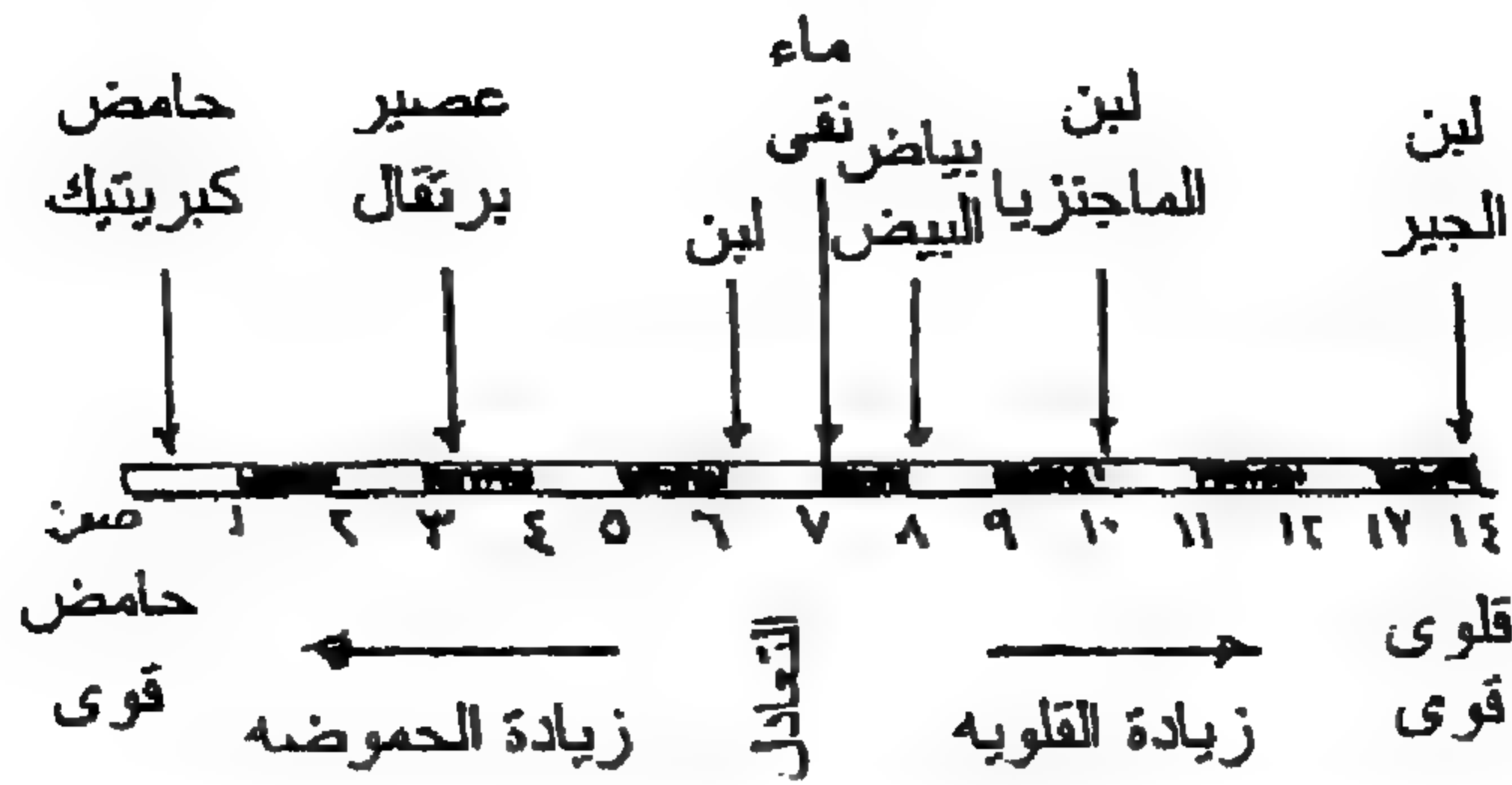
الحامض هو المادة التي تسبب زيادة في تركيز أيون الهيدروجين (H^+) في المحلول المائي. المادة التي تسبب زيادة في تركيز أيون الأيدروكسيد (OH^-) تسمى قلوية. الأحماض والقلويات يمكن أن يتصفا بالقوة أو بالضعف (Strong or Weak)، طبقاً لدرجة زيادة التركيز لـ (H^+) أو (OH^-). حامض الهيدروكلوريك (HCl) كمثال للحامض القوي حيث يتحلل بسرعة في الماء، مكوناً أيونات (H^+)، (Cl^-) في الماء، تركيز (H^+) في الماء يزداد كثرة. أيدروكسيد الصوديوم (NaOH) هو مثال للقلوي القوي الذي يتحلل إلى (Na^+)، (OH^-)، ويزيد كثيراً تركيز (OH^-) . المادة القلوية مثل NaOH تسمى كذلك مادة قاعدية.

التفاعل الكيماوي بين الحامض والقلوي يسمى التعادل. نواتج تفاعل التعادل هما الملح والماء. ملح الطعام كمثال، هو نتيجة تفاعل التعادل بين حامض الهيدروكلوريك HCl وأيدروكسيد الصوديوم (NaOH) كالتالي :



مقياس الرقم الهيدروجيني : (The pH Scale)

الرقم الهيدروجيني هو الرقم الذي يبين شدة الحموضة أو القلوية. يتراوح مقياس الرقم الهيدروجيني من صفر حتى ١٤. متوسط التدرج $pH = 7$ ، يمثل المحلول المتعادل، أو ذلك الذي ليس حامض أو قلوي. الماء النقي متعادل لأنه يحتوى على نفس العدد لكل من أيون الهيدروجين (H^+) وأيون الأيدروكسيد (OH^-). المحاليل ذات رقم هيدروجيني أقل من ٧ تكون حامضية وتلك ذات الرقم الهيدروجيني أكبر من ٧ تكون قلوية (قاعدية). الشكل (٢/٧) يوضح هذا التدرج مع الوضع النسبي لبعض المواد المألوفة.



شكل (٢/٧) مقياس الرقم الهيدروجيني (pH) لتوضيح قوة المحلول الحامضي أو القلوي. الرقم الهيدروجيني (٧) متعادل، ليس حامضي أو قلوي

كما يعرف الرقم الهيدروجيني بأنه اللوغاريتم السالب لتركيز أيون الهيدروجين. فمثلاً في حالة الماء النقي تكون القيمة الرقمية لتركيز أيون الهيدروجين هي 10^{-7} . اللوغاريتم هو -7 ، وسالب هذا هو ٧.

نظراً لأن الرقم الهيدروجيني مبني على اللوغاريتم للأساس ١٠، فإن كل تغير في الرقم الهيدروجيني يمثل عشرة أضعاف التغير في درجة الحموضة أو القلوية للمحلول. فمثلاً، محلول له رقم هيدروجيني = ٥ يكون له عشرة أضعاف حموضة زائدة عن محلول له رقم هيدروجيني = ٦. وبالمثل محلول له رقم هيدروجيني = ٤ يكون ١٠٠ ضعف أكثر حموضة عن محلول له رقم هيدروجيني = ٦.

المواد العضوية : (Organic Substances)

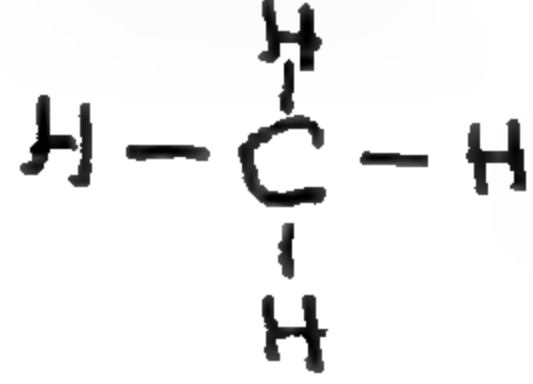
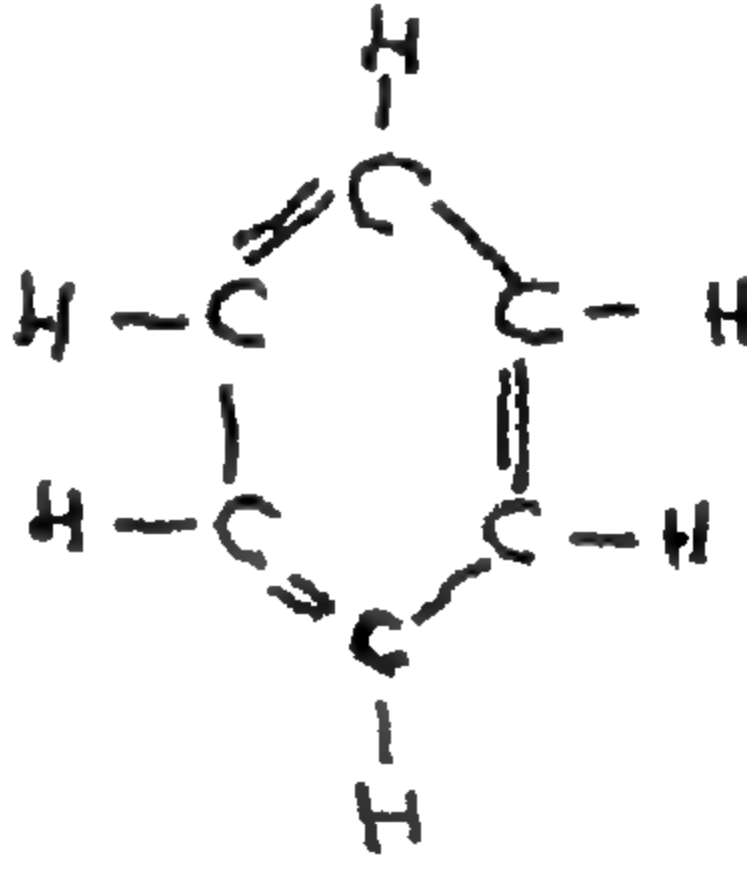
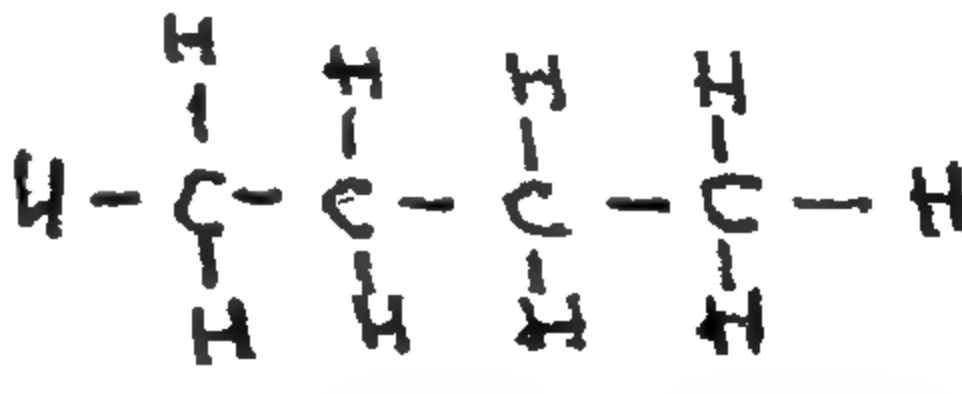
الخواص المحددة للمركب العضوي هي أنه يحتوي على الكربون متحداً مع عناصر أخرى مثل الهيدروجين، الأكسجين، النيتروجين، الفوسفور، والكبريت. كل الكائنات الحية تتكون من مركبات عضوية، بعضها يكون معقداً في التركيب الجزيئي حتى أنه لا زال غير معروفاً لدى العلماء.

مئات الآلاف من الكيماويات العضوية معروفة وجودها. كثيراً منها يوجد في الطبيعة، في أنسجة الحيوان والنبات وفي المخلفات. مركبات عضوية أخرى تكون مواد مصنعة التي لا وجود لها في الطبيعة خارج المعامل الكيماوية. السبب الأساسي لوجود هذا الكم الكثير من المركبات العضوية سواء الطبيعية أو المخلقة هو أن ذرة الكربون تتحد بسرعة مع ذرات كربون أخرى وعناصر أخرى مرتبطين مع بعضها في شكل تسلسل طويل أو في شكل حلقات.

الفصل الثامن

المركبات العضوية التي تحتوى على الكربون والهيدروجين تسمى الهيدروكربونات (Hydrocarbons). أبسط أنواع الهيدروكربونات هو غاز الميثان (CH_4)، وهو غاز عند درجة الحرارة العادية والضغط العادى. وينتج أثناء تحلل مركبات عضوية أخرى مثل الموجودة فى حمأة الصرف الصحى أو فى القمامة.

أبسط الهيدروكربونات الحلقية هي البنزين (C_6H_6) حيث ترتبط ذرات الكربون مع بعضها لتكوين حلقة ذات شكل سداسى. البيوتين (Butane) هو مثال لجزئ الهيدروكربون بالسلسل المستقيم (Straight - Chain Hydrocarbon). المخطط الذى يوضح التركيب الجزيئ للميثان والبنزين والبيوتين موضح فى الشكل (٢/٨).

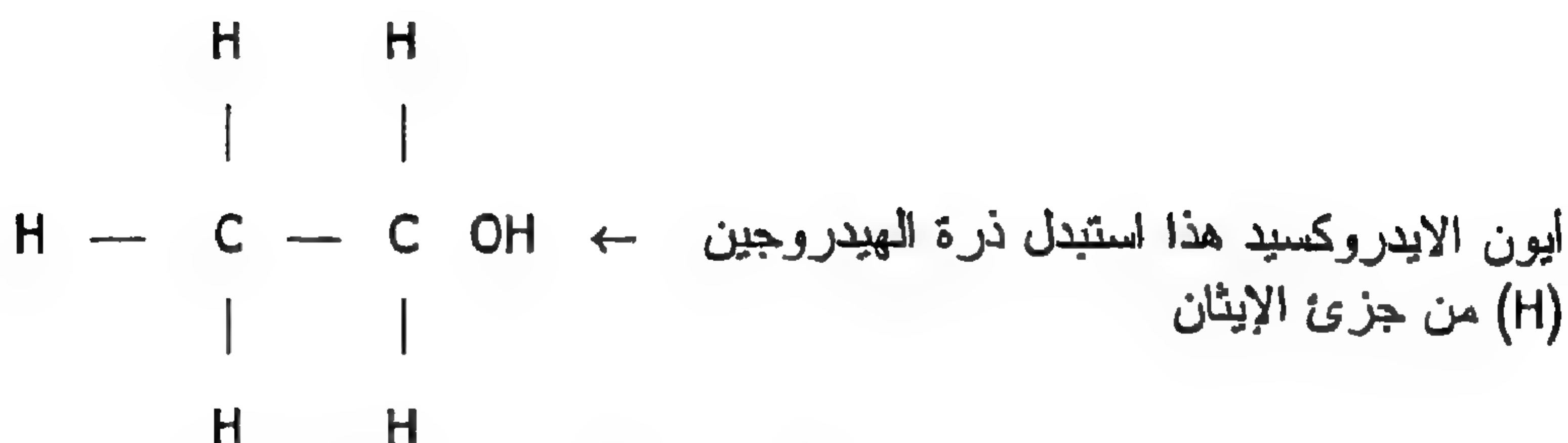
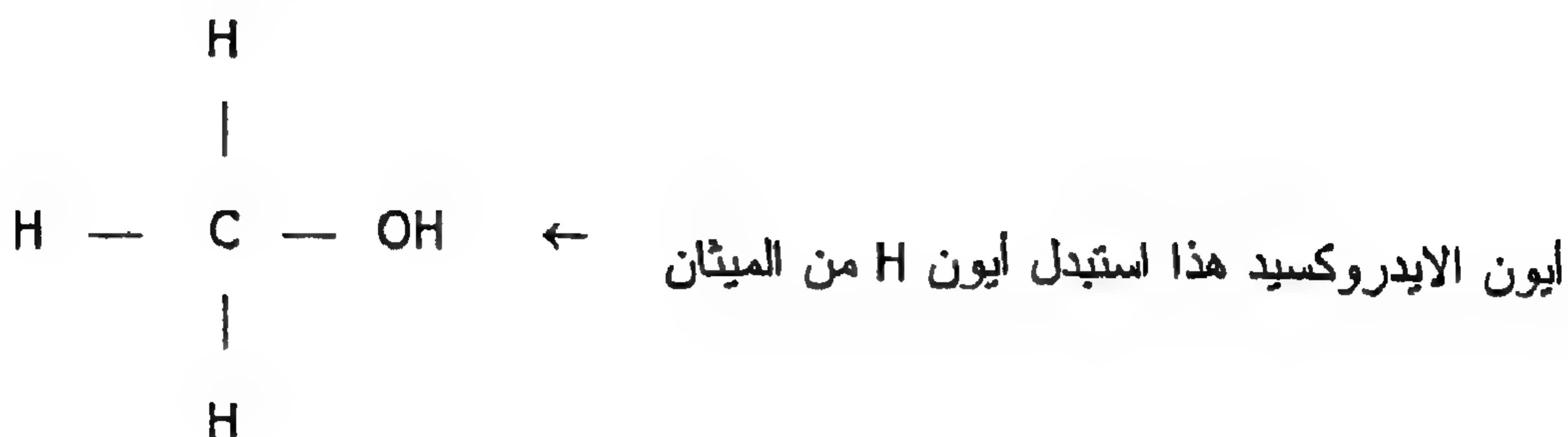
التركيب الجوىنى	الرمز الكىماوى	الاسم
	CH_4	الميثان
	C_6H_6	البنزين
	C_4H_{10}	البيوتين

شكل (٢/٨) مخطط البناء الذرى لثلاث مركبات عضوية تسمى الهيدروكربونات

بالإضافة إلى قدرة ذرات الكربون على الاتحاد مع بعضها البعض، مكونة حلقات أو سلاسل ذات أطوال مختلفة، فإن مجموعات مختلفة من الذرات يمكن أن تحل محل ذرات الهيدروجين بسرعة فى الهيدروكربونات وهذا سبب آخر لوجود عدد كبير جداً من المواد العضوية.

التقسيم للكىماويات العضوية المختلفة يتوقف على ما هي المجموعات المعنية من الذرات التى تستبدل الهيدروجين. الكحولات (Alcohols) كمثال، تتكون عند استبدال ذرات

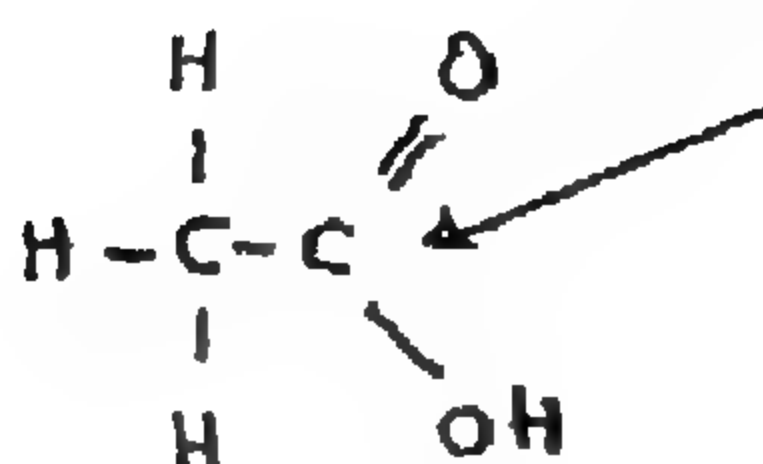
الهيدروجين بمجموعات الإيدروكسيد. الميثانول (CH_3OH) هو مثال للكحول المستخدم في المذيبات وإضافات الوقود. بناؤه الذري موضح في الشكل (٢/٩). الإيثانول ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) هو كحول ناتج عن تخمر السكر ويوجد في المشروبات الكحولية. أكسدة الكحول يمكن أن تنتج مركبات عضوية تسمى ألدهايدز و كيتونز (Aldhydes , Ketones).



شكل (٢/٩) البناء الجزيئي لنوعين من الكحولات مختلفين الميثانول والإيثانول. مجموعة OH^- استبدلت ذرة H في كلا النوعين.

تتكون الأحماض العضوية عند استبدال مجموعة الكربوكسيل (COOH) للهيدروجين في الهيدروكربون. حامض الأسيتيك (الخليك) الموجود في الخل هو مثال للحامض العضوي. وهو موضح في الشكل (٢/١٠).

مجموعة COOH هي من صفات الأحماض العضوية

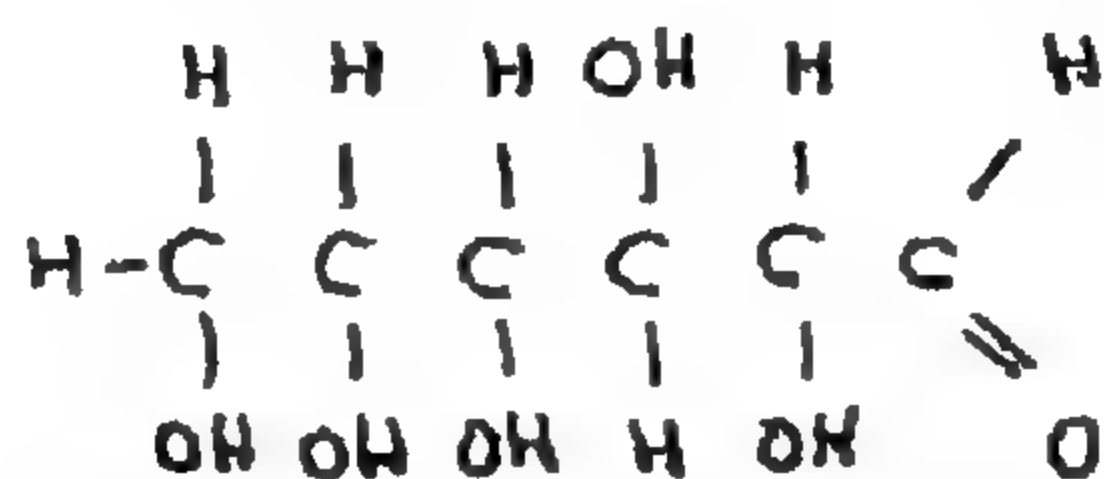


شكل (٢/١٠) البناء الجزيئي لحامض الأسيتيك يوجد في الخل

كثير من المواد العضوية تكون قابلة للتحلل البيولوجي (Biodegradable) وهذا هو المصطلح للتعبير عن المواد التي يمكن أن تستخدمها الكائنات الحية الدقيقة كغذاء، جزيئات المواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجي تتفتت بسرعة إلى جزيئات أصغر وأبسط بفعل الأداء البيولوجي.

الكربوهيدريتز هي من أكثر مجموعات المركبات العضوية القابلة للتحلل البيولوجي وفرة وهي تسمى أحياناً وقود الحياة (Fuel of Life). وهي المنتجات الأساسية لعملية التمثيل الضوئي في النبات. التمثيل الضوئي (Photosynthesis) هو العملية التي بها تتحول الطاقة الشمسية إلى الشكل الذي يمكن استخدامه بواسطة الكائنات الحية.

جزيئات الكربوهيدريت تتكون من عناصر الكربون، الهيدروجين، الأكسجين. يوجد الهيدروجين والأكسجين دائماً بنفس النسب كما في الماء أي بنسبة اثنين إلى واحد. سكر الجلوكوز هو مثال للهيدروكربون البسيط. وزنه الجزيئي موضح في الشكل (٢/١١).



شكل (٢/١١) البناء الجزيئي للسكر الذي يسمى الجلوكوز $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$

السكروز (Sucrose) وهو السكر العادي هو كربوهيدريت تتكون باتحاد الجلوكوز وسكر آخر يسمى الفركتوز (Fructose). النشا والسيليلوز هي كربوهيدرات أكبر وأكثر تعقيداً والتي ليست قابلة للتحلل البيولوجي مثل المواد السكرية البسيطة. السيليلوز هو المادة الأساسية في النبات.

الدهون هي مركبات عضوية قابلة للتحلل البيولوجي وهي تتكون من ذرات الكربون والهيدروجين والأكسجين. رغم أنها جزيئات هامة لحفظ الطاقة إلا أنها ليست شديدة الذوبان في الماء، وتتحلل بمعدل بطيء. البروتينات (التي تتكون من الأحماض الأمينية) هي أكثر تعقيداً عن الكربوهيدرات أو الدهون، وهي تكون المادة الأساسية في أنسجة الحيوان. بالإضافة إلى الكربون، الأكسجين والهيدروجين فإن البروتينات تحتوي على النيتروجين والكبريت.

قاعدة الميزان المادى : (Concept of Material Palance)

القاعدة العلمية الأساسية هي قانون بقاء المادة. وهذا يعنى أنه عندما لا يكون هناك تحول للمادة إلى طاقة، فإن مجموع كتل المواد التى تدخل التفاعل يجب أن يساوى دائماً مجموع كتل المواد الناتجة من التفاعل، حتى فى حالة عدم حدوث تفاعل كىماوى، قانون بقاء المادة يختص بقاعدة الميزان المادى وهو مفيد فى تكنولوجيا البيئة.

حسابات الميزان المادى لها دور هام فى تصميم وتشغيل عمليات المعالجة للمياه، مياه الصرف الصحى، المخلفات الصلبة. فى نظم المعالجة، تتم العمليات الطبيعية والكىماوية والبيولوجية فى أوعية أو خزانات تسمى المفاعلات (Reactors)، والعمليات أو التفاعلات المعنية تسمى (Unit Processes). فى أبسط الحالات، يمكن القول أن المدخلات يجب أن تساوى المخرجات، أو بمعنى آخر ما يدخل يجب أن يخرج. إذا لم يحدث هذا، فإنه يكون هناك تراكم للمادة فى المفاعل يساوى الفرق بين المدخلات والمخرجات، أو التراكم = المدخلات - المخرجات. حيث أنه فى مثل هذه الحالة فإن مكونات المادة فى المفاعل تتغير مع الوقت، فإنها توصف بأنها عملية فى حالة غير ثابتة (Unsteady - State Operation). فى العملية ذات الحالة الغير ثابتة يمكن فرضيه أن معدلات المدخلات والمخرجات تكون ثابتة، كما فى مكونات مفاعل الخلط الكامل.

فمثلاً، بفرض ماسورتان يحتويان على محاليل ملحية يصبان فى خزان الذى يتم فيه الخلط الكامل للمحاليل، وماسورة أخرى تالئة تحمل المحلول خارج الخزان (كما فى الشكل ٢/١٢). المحلول فى الماسورة الأولى له تركيز C_1 ملجرام/لتر وفى الثانية التركيز C_2 ملجرام/لتر. معدل التدفق فى الماسورتين هو Q_1 , Q_2 على التوالى. قاعدة الميزان المادى يمكن تطبيقها لتعيين تركيز المحلول المخلوط الذى يتم صرفه من الخزان لأنه تحت ظروف حالة الثبات، فإن الكمية الكلية للملح الداخلى إلى الخزان يجب أن تساوى الكمية الكلية التى تترك الخزان. بمعنى آخر، نظراً لأن الملح لا يتآكل أو يتفاعل مع مادة أخرى (فى هذا المثال)، فإن تركيز الملح فى المخلوط فى الخزان يظل ثابتاً مع الوقت.

ناتج التركيز وحجم معدل التدفق يساوى معدل تدفق الكتلة لأن المليجرام/لتر \times اللتر/اليوم = الملجرام/اليوم، حيث معدل تدفق الحجم فى هذا المثال يعبر عنه باللتر فى اليوم، أو (L/d). بفرض أن الفترة الزمنية هي واحد يوم. عندئذ ناتج $Q \times C_1$ يجب أن يساوى كتلة الملح الداخلى إلى الخزان فى يوم واحد من الماسورة الأولى. وبالمثل $Q_2 \times C_2$ تساوى

كتلة الملح الداخل إلى الخزان في اليوم الواحد أي المدخلات يجب أن يكون مساويا للمجموع من الماسورتين أو المدخلات =

$$Q_2 \times C_2 + Q_1 \times C_1$$

إجمالي الكتلة للملح الذي يترك الخزان تساوي مجموع التركيز في الخليط C_3 ومعدل التدفق الحجمي الذي يترك الخزان. نظراً لأن الماء غير قابل للانضغاط، لذلك فإن معدل التدفق هذا يجب أن يساوي $Q_2 + Q_1$. لذلك المخرجات من الملح تكون $(Q_2 + Q_1) \times C_3$.

حيث أن قاعدة الميزان المادي تنطبق هنا وأن المدخلات = المخرجات فإنه يمكن الحصول على العلاقة الآتية :

$$C_3 \times (Q_1 + Q_2) = C_1 \times Q_1 + C_2 \times Q_2$$

عند حل هذه المعادلة بالنسبة لـ C_3 وذلك بتسمية كلا الجانبين على $(Q_1 + Q_2)$ فإننا نحصل على الميزان المادي التالي.

$$C_3 = C_1 \times Q_1 + C_2 \times Q_2 + Q_1 + Q_2$$

حسابات الميزان المادي يمكن تطبيقها في نظم البيئة الطبيعية مثل المجارى المائية والأنهار والبحيرات وحتى الغلاف الجوي. أمثلة لهذه التطبيقات موضحة في البند الخاص بتلوث المجارى المائية.

٢- المعايير الطبيعية لنوعية المياه :

(Physical parameters of Water Quality):

المعايير المستخدمة عادة لوصف النوعية الطبيعية للمياه هي العكارة، درجة الحرارة، اللون، المذاق، الرائحة.

العكارة : (Turbidity)

عند وجود أجسام صغيرة عالقة في الماء، فإنها تميل إلى التشتت وامتصاص أشعة الضوء. وهذا يعطى للماء شكل العكارة، وهذا ما يسمى بالعكارة الطوفان، مواد التربة، الأجسام الصغيرة من المواد العضوية والكائنات الميكروبية هي بعض المواد المسببة للعكارة. وهذه توجد في المياه طبيعياً أو بسبب الأنشطة الأدمية والتلوث.

العكارة هي من المعايير الهامة وخاصة لنوعية مياه الشرب. الأجسام العالقة يمكن أن توفر أماكن اختفاء للكائنات الحية الصغيرة وبذا تحمي هذه الكائنات من عمليات التطهير في محطة معالجة المياه. بسبب تأثير هذه الحماية فإنه يمكن ابتلاع الميكروبات أثناء شرب المياه حيث تكون النتيجة انتشار المرض.

كذلك فإن العكارة غير مرغوبة في مياه الشرب لأسباب عدم القابلية والاستساغة وعدم الرغبة في شربه. حتى أن الدرجة المنخفضة جداً من العكارة تجعل الماء مرفوضاً. حتى في حالة تأكيد أن الماء آمن للشرب رغم وجود العكارة، فإنه عادة يتم البحث عن مصدر آخر (والذي من المحتمل أن يكون بنوعية متدنية وأن كان خالي من العكارة).

تقاس العكارة بالوحدات المرتبطة بنقاء وشفافية عينة الماء بالنسبة للعائق القياسى للسيليكا. التداخل في مرور الضوء بسبب العائق لواحد ملجرام/ لتر من السيليكا يكافئ وحدة عكارة واحدة (One Turbidity Unit) - (TU). فمثلاً عينة الماء التى لها نفس درجة العكارة مثل ١٠ ملجرام/لتر من عائق السيليكا لها عكارة ١٠ وحدة (10 TU).

لتقدير بيانات العكارة، يكون من المفيد معرفة مجالات العكارة التى تحدث، العكارة أزيد من ٥ وحدات (5 TU) تلاحظ بواسطة الشخص المتوسط، معظم الناس لا يشتكون عن شفافية المياه عند درجة عكارة أقل من ٥ وحدات. العكارة حيث يرى معظم الناس أن البحيرة رائقة يمكن أن تكون مرتفعة حتى ٢٥ وحدة. فى المياه الحاملة للطمى عادة تزداد العكارة عن ١٠٠ وحدة. محطات المعالجة الجيدة يمكن أن تنتج مياه نقية بللورية ذات عكارة أقل من واحد (1 TU).

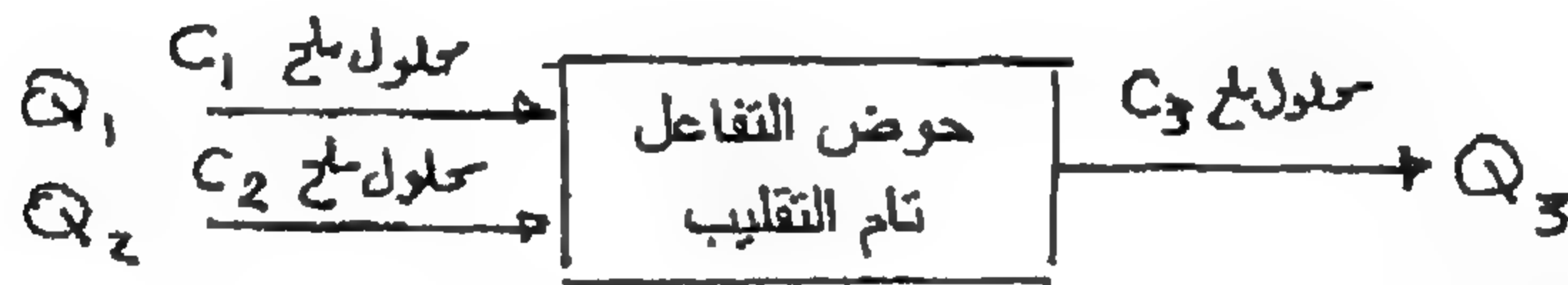
المياه الجوفية عادة تكون ذات عكارة منخفضة جداً بسبب الترشيح الطبيعى الذى يحدث عند تسرب المياه خلال التربة. معظم المجارى والأنهار بها عكارة نسبية عالية. وهذا يكون بالتحديد بعد فترة سقوط الأمطار والتى تسبب برى للتربة. معالجة المياه العكرة من المجارى السطحية لإمدادات الشرب يمكن أن تكون عملية مكلفة، حيث زيادة العكارة تتطلب زيادة الكيماويات المطلوبة وكذلك زيادة معدلات نظافة المرشحات.

بالنسبة لمياه الشرب، تستخدم أجهزة قياس تسمى النيفيلوميترز (Nephelometers) لقياس العكارة بعد التنقية. هذه التجهيزات تقيس كمية الضوء المشتت إلكترونياً ولا تعتمد على رؤية الإنسان أو القياس بعوالق قياسية. القياسات التى تتم بأجهزة قياس العكارة النيفيلومترية (Nephelometric Turbidity Meters) يمكن التعبير عنها بالرمز (NTU) بدلاً

الفصل الثاني

من TU، لتوضيح كيفية عمل القياس. العكارة في مياه الشرب المرشحة يجب أن تساوى أو تقل عن ٠,٥ وحدة نيفيلومترى (0.5 NTU) في ما لا يقل عن ٩٥% من العينات المختبرة كل شهر.

جهاز قياس العكارة التقليدي شمعة جاكسون (Jackson Candle Turbidemeter) يمكن استخدامه لقياس عكارة المياه العكرة (الغير معالجة) موضح الشكل (٢/١٣). يتم إضافة الماء في أنبوب زجاجية رأسية حتى مجرد اختفاء لهب الشمعة من النظر. الأنبوبة الزجاجية مدرجة بوحدات عكارة، كلما زاد ارتفاع عمود الماء اللازم لإخفاء الشعلة، كلما قلت العكارة. قيم العكارة التي يتم الحصول عليها باستخدام جهاز قياس العكارة بشمعة جاكسون يعبر عنها بالرمز (JTU). زيادة العكارة في البحيرة يقلل العمق الذي يخترقه الضوء في الماء. ذلك له تأثير على عملية التمثيل الضوئي للكائنات النباتية الدقيقة، أو الطحالب وكذلك على كل الاتزان البيئي للبحيرة. في عمليات المباحث الحقلية يمكن استخدام أقراص (Small White Secchi Disks) وإنزالها في الماء بحبل مدرج بالأمتار حتى اختفاء القرص من النظر. عمق القرص عن تلك النقطة يمكن مضاهاته بعكارة ماء البحيرة.

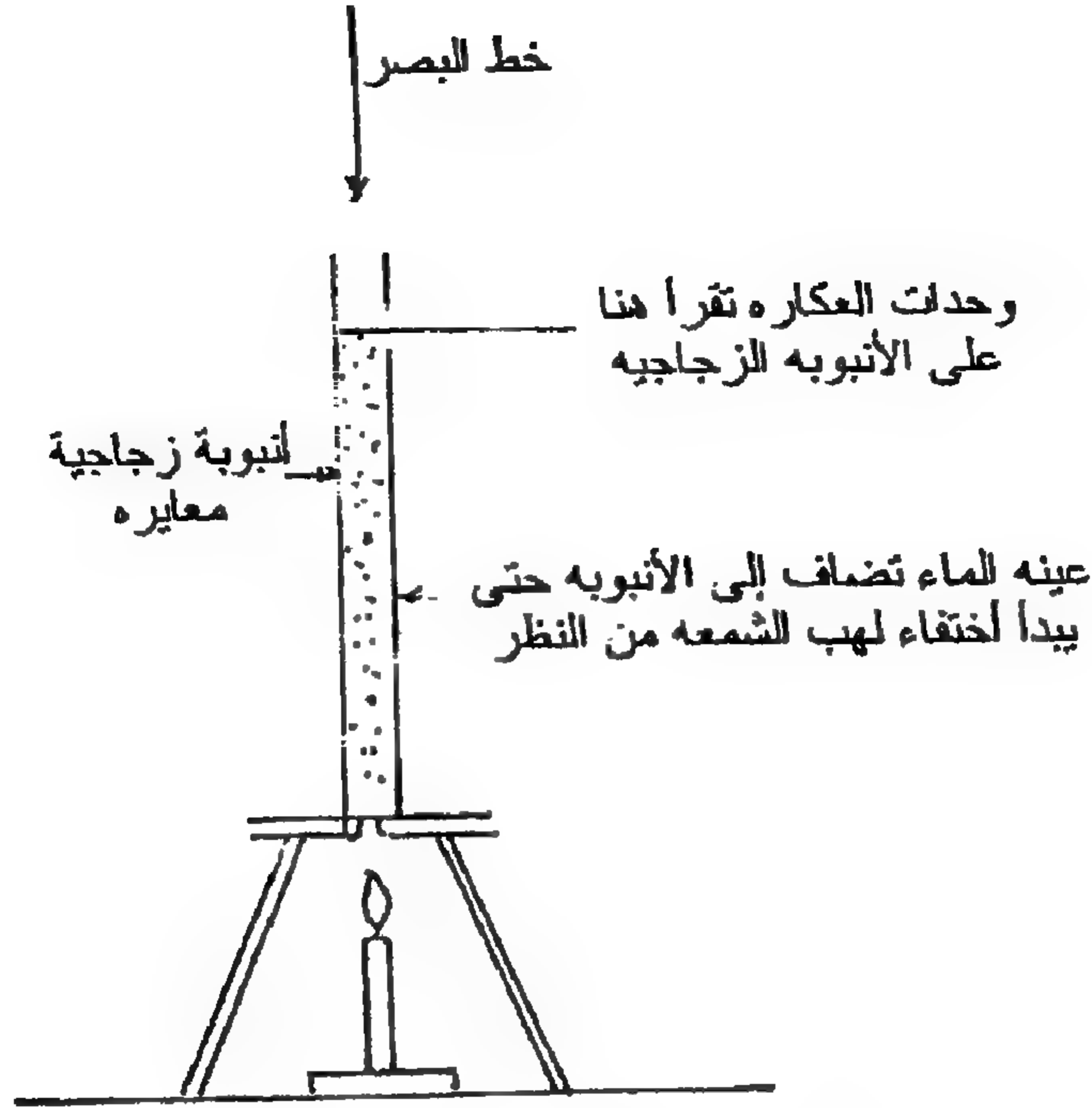


شكل (٢/١٢) مخطط للميزان المادي. كتلة الملح الكلية الداخلة إلى الحوض يجب أن تساوى كتلة الملح الكلية التي تخرج من الحوض على الجانب الأيمن. إذا كان تركيز المحلول ومقدار معدل التدفق معلوماً

في الماسورة ١، ٢ فإن تركيز الملح في الماسورة رقم

(٢) يمكن حسابه باستخدام معادلة الميزان المادي.

$$Q_3 = Q_1 + Q_2$$



شكل (٢/١٣) مقياس العكارة بالشمعة

درجة الحرارة :

الأسماك والكائنات المائية الأخرى تحتاج إلى حالات معينة من درجة الحرارة لتعيش ولتتكاثر، أقصى درجة حرارة لسمك السلمون كمثال هو ١٥°م، درجة حرارة ٢٤°م هي أفضل درجة حرارة للفرخ وهو نوع من السمك النهري، كما أن سمك الشبوط النهري يعيش في الدفئ عند ٣٢°م، والتي هي أكثر من ضعف درجة الحرارة المفضلة لسمك السلمون (سمك الماء البارد).

معظم الأجناس يمكن أن تتأقلم للتغير المتوسط من درجة الحرارة القصوى لها. ولكن في حالة زيادة التغير فإن الكائنات الحية سوف تلجأ إلى مكان آخر أو تهاجر، عموماً التغير في حدود ٥°م يمكن أن يغير الاتزان الصحي للبيئة المائية. الانخفاض المفاجئ في درجة الحرارة يمكن أن يكون مؤذياً، ولكن عادة الزيادة في درجة الحرارة سوف تسبب تلفاً أكثر عن انخفاضها (لذلك فإنه يلزم حماية الأنهار من صرف المياه الساخنة من محطات الطاقة).

السبب الأساسي في هذا، كما سبق مناقشته هو أن إذابة الأكسجين في الماء تخفض بشكل ملحوظ مع ارتفاع درجة حرارة الماء، الأسماك والكائنات الأخرى تحتاج إلى

الأكسجين لتعيش. زيادة درجة الحرارة تزيد معدل الأيض (Metabolism - وهو مجموع العمليات المتصلة ببناء البروتوبلازم ودورها وبخاصة التغيرات الكيماوية فى الخلايا الحية). بمعنى آخر معدل استخدام الكائن للأكسجين لحرق الغذاء للطاقة يزداد عند درجات الحرارة العالية. التأثير المشترك لهذا حيث النقص فى الأكسجين والمعدل العالى لأيض الكائنات يمكن أن يكون مدمراً.

بالإضافة إلى أن مياه الشرب المرغوبة هى المياه الباردة، إلا أن درجة الحرارة لها تأثير قليل فى إمدادات مياه الشرب، ولكن درجة الحرارة تقوم بدور كبير فى معالجة مياه الصرف وحماية المياه من التلوث. نظم المعالجة البيولوجية لمياه الصرف تزداد كفاءتها عند درجات الحرارة المرتفعة. فى المناطق الباردة، يتم احتواء محطات المعالجة فى أغشية يتم تسخينها للمحافظة على استمرار أقصى مجال مناسب لدرجة الحرارة (حوالي ٣٧°م).

اللون، المذاق، الرائحة :

اللون، المذاق، الرائحة هى خواص طبيعية لمياه الشرب حيث لها أهمية بالنسبة لاستساغة المياه للشرب، وهذه ليس لها أى تأثير ضار مباشر على الصحة، ولكن مهما كانت المياه آمنة للشرب إلا أن وجود اللون والمذاق أو الرائحة يجعلها غير مقبولة.

اللون يمكن أن يكون بسبب الجسيمات الغروية المذابة أو العالقة، أساساً من بقايا تآكل الأوراق والنباتات المجهرية. وهذا يجعل لون المياه يميل إلى اللون البنى المصفر. المجارى المائية أو الأنهار ذات الروافد فى مناطق المستنقعات يمكن أن يكون بها هذه المشكلة. يتم قياس اللون بمقارنة عينة الماء بمحلول لون قياسى أو أقراص زجاج ملونة. وحدة اللون تكافئ اللون الناتج من واحد ملجرام/لتر من محلول البلاتين. إن عزل ومعرفة كيماويات معينة المسببة للون يعتبر إجراء غير عملى.

غاز كبريتيد الهيدروجين هو السبب العادى للرائحة فى إمدادات المياه، رائحة البيض الفاسد لهذا الغاز يمكن وجودها فى المياه التى التصقت مع رواسب طبيعية من مواد عضوية متحللة. أحيانا إمدادات المياه الجوفية تكون بها هذه المشكلة، عندئذ تسمى الآبار الكبريتية (Sulphur Wells).

تقاس الرائحة وتقيم طبقاً لرقم بداية الرائحة (Threshold odor No.) وهذا الرقم هو النسبة التى يجب أن يتم بها تخفيف العينة لتصبح الرائحة عديمة الملاحظة. فمثلاً، إذا

كانت عينة من الماء ٥٠ سم^٣ يجب تخفيفها إلى حجم ٢٠٠ سم^٣ لتصبح الرائحة ضعيفة الاستكشاف، فإن رقم بداية الرائحة يكون $٤ = ٥٠ \div ٢٠٠$.

تقنية مشابهة يمكن استخدامها في مقياس المذاق للمياه، قياسات الرائحة والمذاق تعتمد إلى حد كبير على حساسية الشخص القائم بالاختبار.

٣- المعايير الكيماوية لنوعية المياه :

كثير من الكيماويات العضوية والغير عضوية تؤثر على نوعية المياه. في حالة مياه الشرب فإن هذه التأثيرات يمكن أن يكون لها علاقة بالصحة العامة أو بالاستساغة أو باعتبارات اقتصادية. في المياه السطحية، نوعية الكيماويات يمكن أن تؤثر على بيئة الكائنات المائية. كذلك توجد معايير عديدة متعلقة بمياه الصرف. في هذه البند سيتم مناقشة أهم المعايير الكيماوية لنوعية المياه.

الأكسجين المذاب :

الأكسجين المذاب يعتبر عموماً أحد أهم المعايير لنوعية المياه في المجارى المائية والأنهار والبحيرات. الأكسجين المذاب يختصر في شكل (DO) أى (Dissolved Oxygen) مثل ما يحتاج الإنسان لأكسجين الهواء ليتنفس، فإن الأسماك، والكائنات المائية الأخرى تحتاج إلى الأكسجين المذاب في الماء لتعيش. بالنسبة لكل المواد الأخرى التي كلما قل وجودها في الماء كلما كانت نوعية المياه أفضل، ولكن العكس في حالة الأكسجين المذاب. كلما زاد تركيز الأكسجين المذاب في الماء كلما كانت نوعية المياه أفضل.

الأكسجين قليل الذوبان في الماء. فمثلاً، تركيز التشبع عند 20°م هو حوالى ٩ ملجرام/لتر أو ٩ جزء في المليون. بسبب هذه الإذابة الضعيفة فإنه عادة ما توجد منافسة بين الكائنات المائية، بما فيها البكتريا نحو المتاح من الأكسجين المذاب. البكتريا تستهلك الأكسجين بسرعة عالية في حالة وجود كثير من المواد العضوية في الماء. بعض أنواع الأسماك تهاجر عند الإحساس بخفض الأكسجين المذاب. العامل الآخر الذي يلزم تذكره هو أن إذابة الأكسجين حساسة جداً لدرجة الحرارة. التغيرات في درجة حرارة الماء لها تأثير كبير على تركيز الأكسجين المذاب.

الأكسجين المذاب ليس له أى تأثير على الصحة العامة، ولكن شرب المياه التي تحتوى على قليل من الأكسجين أو خاليه من الأكسجين يجعله غير مستساغ من ناحية المذاق. الأكسجين المذاب له دور في التآكل أو صدا المواسير المعدنية.

الأكسجين المذاب يستخدم بكثافة في أجهزة معالجة مياه الصرف - الهواء أو أحيانا الأكسجين المذاب، يتم خلطه مع مياه الصرف الصحي لتنشيط التحلل الهوائي للمخلفات العضوية. دور الأكسجين المذاب في تلوث المياه وفي معالجة مياه الصرف سيتم مناقشته لاحقا.

تركيز الأكسجين المذاب يمكن تحديده باستخدام طرق التحليل الكيماوية القياسية أو باستخدام قياسات قطب الغشاء (Membrane Electrode - Meters) في المعمل أو في الموقع. أجهزة قياس حقلية يمكن خفضها في المجرى المائي أو الخزان بواسطة سلك موصل. قطب السلك يستشعر التيارات الكهربائية الصغيرة التي تتناسب مع مستوى الأكسجين المذاب في الماء.

الأكسجين الحيوى الكيماوى المطلوب (Biochemical Oxygen Demand)

البكتيريا والكائنات الصغيرة الحية الأخرى تستخدم المواد العضوية كغذاء مع قيامها بإيض المواد العضوية وتحويلها إلى خلايا فإنها تستهلك الأكسجين، المواد العضوية تتكسر وتتفتت إلى مركبات بسيطة مثل H_2O ، CO_2 وتستخدم الكائنات الصغيرة الطاقة المنطلقة لتنمو وتتكاثر.

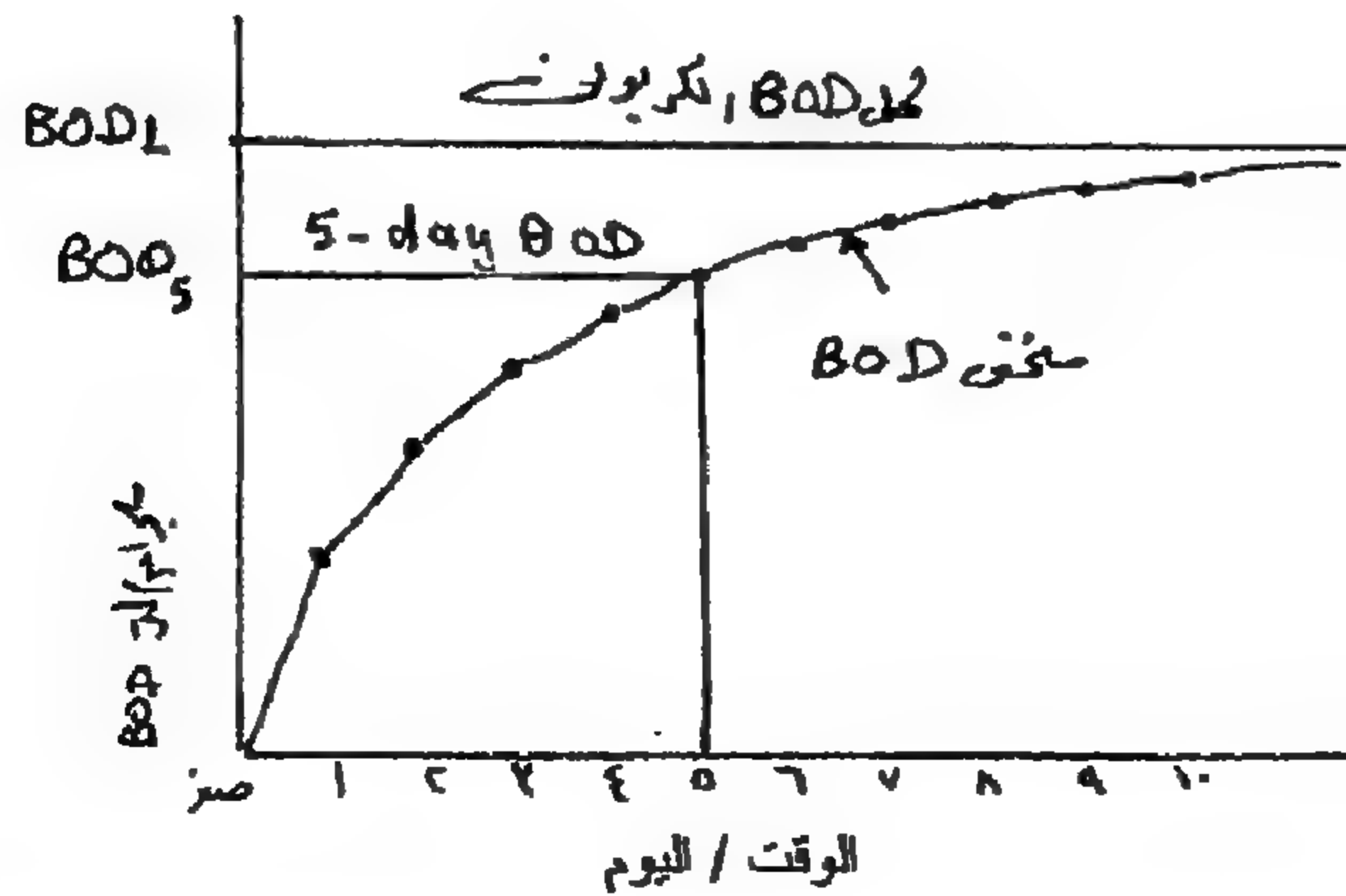
عند حدوث هذه العملية في الماء، فإن الأكسجين المستنفذ هو الأكسجين المذاب. في حالة عدم الاستبدال المستمر للأكسجين في الماء بطرق طبيعية أو صناعية عندئذ فإن مستوى الأكسجين المذاب سينخفض مع تحلل المواد العضوية بفعل البكتيريا والكائنات الصغيرة. هذه الحاجة من الأكسجين تسمى الأكسجين الحيوى المطلوب (Biological Oxygen Demand) ويرمز له بالرمز (BOD). الكائنات الصغيرة (أو تسمى أحيانا الميكروبات) تحتاج إلى الأكسجين لاستخدامه في التفاعلات البيولوجية والكيماوية الذى يحافظ على بقائها، الرمز (BOD) هو من أكثر الرموز المستخدمة في نوعية المياه في تكنولوجيا الحد من التلوث.

المخلفات العضوية في مياه الصرف الصحي هي من الأنواع الرئيسية لتلوث المياه. إن عزل ومعرفة كل نوع معين من المواد العضوية وتعيين تركيزه يعتبر إجراء غير عملي. ذلك فإنه يستخدم الأكسجين الحيوى المطلوب (BOD) كقياس غير مباشر لإجمالى كمية المواد العضوية في الماء والتي تتحلل بيولوجيا (Biodegradable) > كلما زادت المواد العضوية في الماء، كلما زدت كمية (BOD) التي تحتاجها الميكروبات. بالإضافة إلى استخدام (BOD) كمقياس لكمية التلوث العضوى في المجارى السطحية والبحيرات

والأنهار فإنه يستخدم كمقياس لتركيز مياه الصرف الصحي. وهو من أهم المعايير لتصميم وتشغيل محطة معالجة مياه الصرف. مياه الصرف المركزة يكون محتواها من المواد العضوية عالياً وبالتالي الأكسجين الحيوى المطلوب (BOD) يكون مرتفعاً. مياه الصرف الصحي الضعيفة التركيز ذات (BOD) منخفض قد لا تحتاج إلى معالجة كثيرة.

التحلل الكامل للمادة العضوية بفعل الكائنات الحية الدقيقة يستغرق وقتاً، عادة حوالى ٢٠ يوماً أو أكثر فى الظروف العادية. كمية الأكسجين المستخدمة للتحلل الكامل أو لتثبيت كل المواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجى فى حجم معين من الماء تسمى أقصى أكسجين حيوى مطلوب (BOD) أو (BOD₁). فمثلاً، إذا كان لتر واحد من مياه الصرف الصحي المنزلى يحتاج إلى ٣٠٠ ملجرام من الأكسجين لإتمام تحلل المواد العضوية، فإن قيمة (BOD₁) ستقدر بـ ٣٠٠ ملجرام/لتر. لتر واحد من مياه الصرف من مصنع تصنيع المواد الغذائية قد يحتاج لحوالى ١٥٠٠ ملجرام من الأكسجين للتثبيت الكامل للمخلفات. فى هذه الحالة، قيمة (BOD₁) سوف تكون ١٥٠٠ ملجرام/لتر، والذي يوضح أن المخلفات أكثر تركيزاً عن مخلفات الصرف الصحي، عموماً يعبر عن BOD بقيمة الأكسجين بالملجرام/ فى اللتر.

الأكسجين الحيوى المطلوب هو بدلالة الوقت. عند بداية الاختبار للأكسجين الحيوى المطلوب (BOD)، أو الوقت = صفر، فإنه لا يتم استهلاك أى أكسجين وبالتالي BOD = صفر. مع نهاية كل يوم، يتم استخدام الأكسجين بواسطة الميكروبات ويزداد (BOD). عند وصول (BOD₁) إلى أقصاها فإن المواد العضوية يكون قد تم تحللها تماماً. مخطط (BOD) مقابل الوقت له الشكل الموضح فى الشكل (٢/١٤). وهذا يسمى منحنى الأكسجين الحيوى المطلوب.



شكل (٢/١٤) الأكسجين الكيماوى البيولوجى المطلوب أو (BOD) يزداد بالوقت حتى ثبات الملوثات العضوية . قيمة BOD₅ تستخدم للقياس الروتينى والتحليل.

منحنى (BOD) يمكن تقديره رياضياً، بالمعادلة الآتية :

$$BOD_t = BOD_L \times (1 - 10^{-kt}) \quad \text{رقم (٢)}$$

حيث :

BOD_t = قيمة BOD عند أى وقت t ، بالملجرام/لتر.

BOD_L = أقصى BOD، بالملجرام/لتر.

K = ثابت يمثل معدل تفاعل BOD.

T = الوقت باليوم.

المعدل الذى يتم به استهلاك الأكسجين يعبر عنه بالثابت (k). قيمة هذا المعدل الثابت تعتمد على درجة الحرارة، نوع المادة العضوية ونوع الكائنات الدقيقة المسببة لـ (BOD). بالنسبة لمياه الصرف الصحى العادية وعند درجة حرارة ٢٠°م، تكون قيمة (K) عادة حوالى ٠,١٥ فى اليوم.

مثال :

وجد أن عينة مياه الصرف الصحى من أحد المدن لها قيمة BOD بعد خمسة أيام (BOD_5) أنها ١٨٠ ملجرام/لتر. قدر أقصى قيمة (BOD) (BOD_L) لمياه الصرف. افترض أن $K = 0.15$ فى اليوم المياه الصرف الصحى هذه.

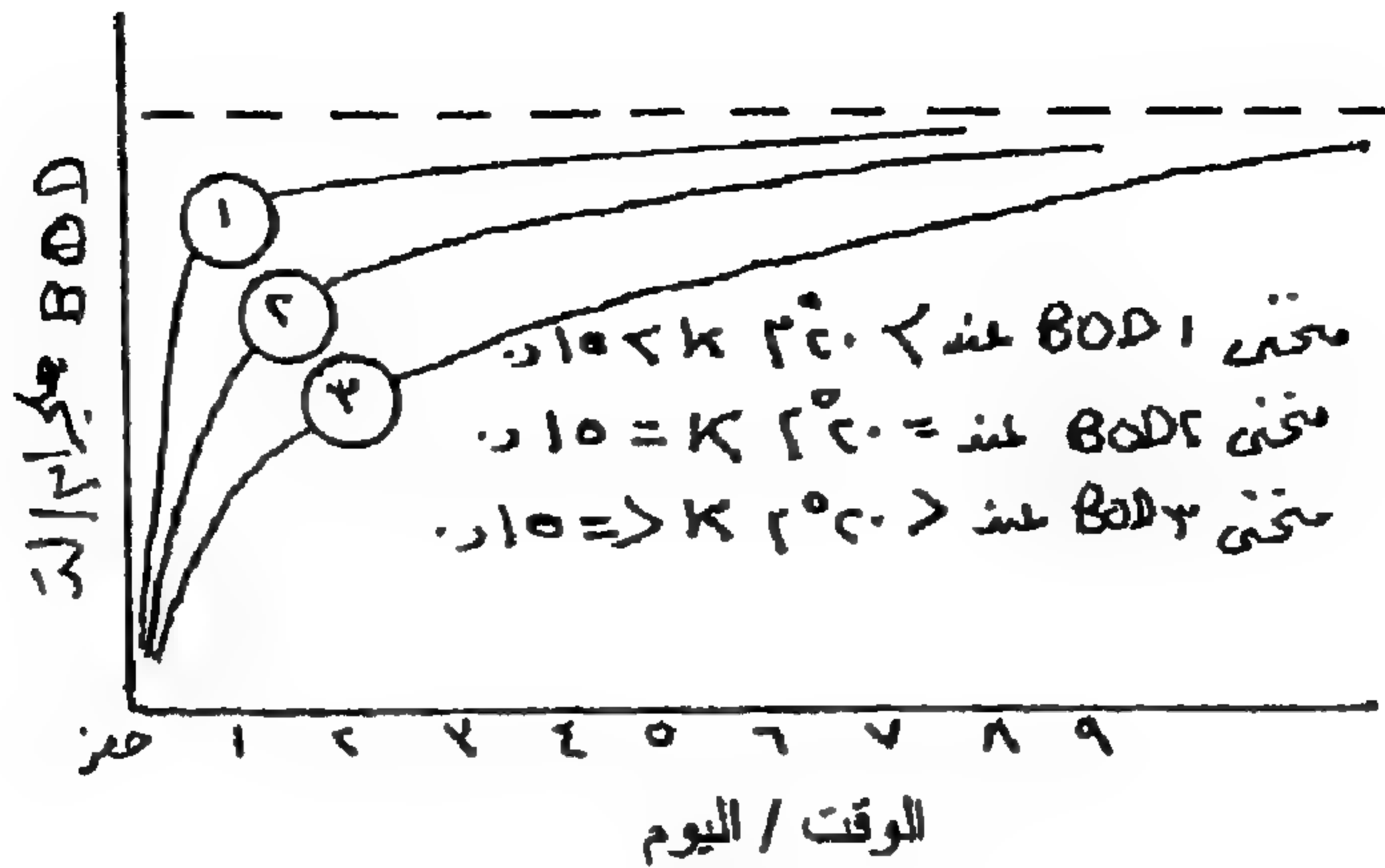
الحل : باستخدام المعادلة السابقة.

$$\begin{aligned} 180 &= BOD_L \times (1 - 10^{-0.15 \times 5}) \\ &= BOD_L \times (1 - 10^{-0.75}) \\ &= BOD_L \times (1 - 0.316) \\ &= BOD_L \times 0.684 \end{aligned}$$

$$\text{عندئذ فإن قيمة } BOD_L = 180 \div 0.684 = 260 \text{ mg/L}$$

تأثير درجات الحرارة المختلفة على معدل التفاعل الأكسجين الحيوى (BOD) على شكل منحنى (BOD) موضح فى الشكل (٢/١٥). عند أعلى درجة حرارة تتحلل المواد العضوية بمعدل أسرع، ولكن (BOD_L) وهو أقصى أكسجين مطلوب يظل ثابتاً.

الـ ٢٠ يوم أو المطلوب لأقصى أكسجين مطلوب يستغرق وقت أطول كثيراً لانتظار النتائج العملية.



شكل (٢/١٥) معدل تفاعل BOD يتناسب مع درجة الحرارة

وهذه حقيقة عملية عند استخدام بيانات (BOD) لرصد كفاءة محطة معالجة تلوث المياه. لقد وجد أن أكثر من ثلثي (BOD_t) تستهلك عادة خلال الخمسة أيام الأولى من التحلل. فمثلاً، في المثال السابق فإن BOD في خمسة أيام ($5-d \text{ BOD}$) هو $260 \div 180 = 0.69$ أو ٦٨% لأقصى BOD للأغراض العملية، فإن قيمة $5-d \text{ BOD}$ أو BOD_5 تم اختيارها كممثل لمحتوى المواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجي في المياه أو في مياه الصرف. لتثبيت النتائج فإن التجربة يجب أن تجرى عند درجة حرارة 20° م.

بالاختصار فإن المعيار (BOD_5) هو كمية الأكسجين المذاب الذي تستخدمه الكائنات الحية الصغيرة في خمسة أيام لتحلل المواد العضوية في الماء عند درجة حرارة 20° م.

قياس (BOD_5) :

الاختبار التقليدي لاختبار الأكسجين الحيوى المستهلك (أو المطلوب) (BOD) يتم في زجاجات قياسية ذات حجم ٣٠٠ سم^٣. اختبار BOD لخمسـة أيام لعينة الماء يتطلب أخذ قياسين للأكسجين المذاب (DO)، قياس أولى عند بدء الاختبار عند الزمن $t = 0$ صفر، القياس الثانى عند الزمن $t = 5$ (يوم)، بعد تحضين العينة فى الظلام لمدة خمسة أيام عند 20° م. قيمة (BOD_5) هى ببساطة الفرق بين القياسين لقيمة الأكسجين المذاب (DO).

فمثلاً، فى حالة عينة المياه من مجرى مائى وجد أن القياس الأولى للأكسجين المذاب كان ٨ ملجرام/لتر. وبعد وضع العينة مباشرة فى زجاجة (BOD) وتحضينها لمدة خمسة أيام عند 20° م. تم تعيين الأكسجين المذاب بعد الخمسة أيام من التحضين فوجد أنه ٤,٥

ملجرام/لتر. عندئذ فإن (BOD) هي كمية الأكسجين المستهلك، أو الفرق بين قرائتي الأكسجين المذاب أى أن $BOD_5 = 8 - 4.5 = 3.5$ ملجرام/لتر.

المياه السطحية الرائقة والنظيفة جداً عادة تكون قيمة (BOD₅) لها حوالى واحد ملجرام/لتر بسبب وجود المواد العضوية الطبيعية من تآكل الأوراق والمخلفات الحيوانية، ولكن قيمة BOD₅ أكثر من ١٠ عادة تكون دلالة لوجود تلوث بفعل مخلفات الصرف الصحي.

عند قياس قيمة (BOD₅) للصرف الصحي، يكون من الضروري تخفيف العينة فى زجاجة BOD. مياه الصرف الصحي المنزلى عادة تكون ذات قيمة (BOD₅) حوالى ٢٠٠ ملجرام/لتر. فى حالة عدم تخفيف العينة، فإن كل الأكسجين المذاب سينخفض بسرعة ولا يكون من الممكن الحصول على قراءة الأكسجين المذاب فى اليوم الخامس. حساب قيمة (BOD₅)، باستخدام طريقة التخفيف هذه فى زجاجة BOD سعة ٣٠٠ سم^٣، يتم باستخدام المعادلة التالية :

$$BOD_5 \text{ رقم (٣)} = \frac{(DO_0 - DO_5) \times 100}{V}$$

حيث :

DO_0 = الأكسجين المذاب الأولى عند $t = 0$ صفر.

DO_5 = الأكسجين المذاب عند زمن $t = 5$ يوم.

V = حجم العينة سم^٣.

مثال :

عينة من مياه الصرف حجمها ٦ سم^٣ تم تخفيفها إلى ٣٠٠ سم^٣ بمياه مقطرة فى زجاجة BOD القياسية. ثم تعيين الأكسجين المذاب الأولى (DO) ليكون ٨,٥ ملجرام/لتر، والأكسجين المذاب بعد فترة خمسة أيام عند درجة حرارة 20°م حيث وجد أنه ٥ ملجرام/لتر. عين قيمة (BOD₅) مع فرض أن قيمة $k = 0.1 \text{ d}$.

الحل : باستخدام المعادلة

$$BOD_5 = \frac{(DO_0 - DO_5) \times 300}{V}$$

$$\therefore BOD_5 = \frac{(8.5-5) \times 300}{6} = \frac{3.5 \times 300}{6} = 105 \text{Mg/L}$$

الآن يتم استخدام المعادلة ($BOD_t = BOD_L (1 - 10^{-kt})$)

$$180 = BOD_L (1 - 10^{-0.1 \times 5}) \therefore$$

$$BOD_L = \frac{180}{0.684} = 260 \text{Mg/L} \therefore$$

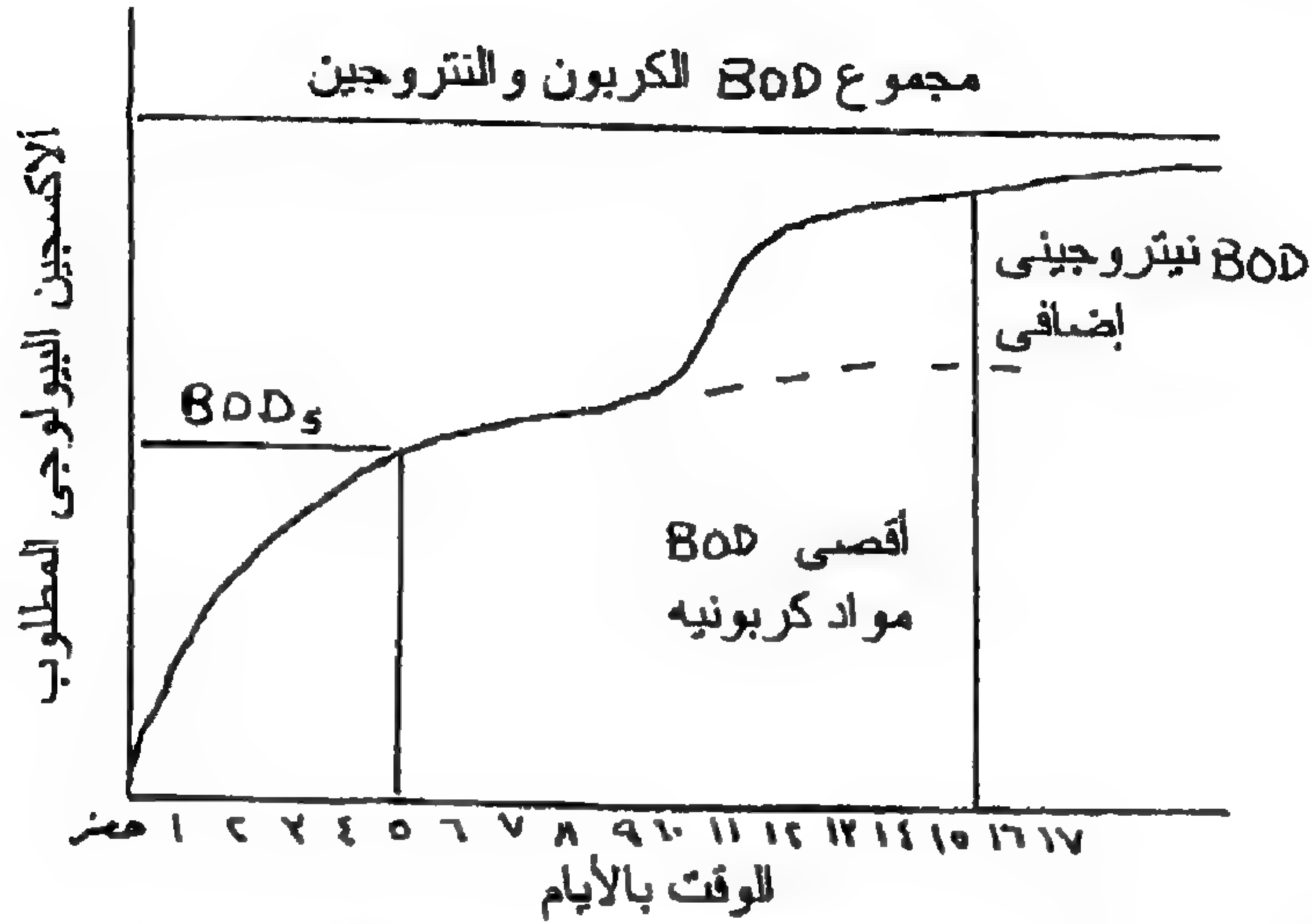
فى بعض الحالات، وخاصة عند تحليل مياه الصرف الصناعى أو مياه صرف الصناعات الغذائية التى لا تحتوى على بكتيريا، فإن مياه التخفيف يجب تخصيصها بالبكتيريا، هذا يوفر الكم المناسب من الكائنات الحية الدقيقة ليتم تفاعل الأكسجين الحيوى المطلوب (BOD). ولكن يجب معرفة أنه رغم وجود كمية كبيرة من المواد العضوية فى المياه، وفى حالة عدم وجود ميكروبات لاستخدام الأكسجين وتثبيت المواد العضوية، فإنه لا يمكن الحصول على قياس لقيمة BOD. عند استخدام مياه التخفيف التى يتم تخفيفها بالميكروبات فإنه يجب تعديل المعادلة رقم (٣) بالنسبة لحساب BOD المضاف بمياه التخفيف.

النترجة (Nitrification) :

يلاحظ فى الشكل (٢/١٦) أنه يبدأ فى الاستقامة (flattens) بعد حوالى ثمانية أيام، ذلك مع الاقتراب من أقصى قيمة الأكسجين الحيوى المطلوب (BOD) قيمة ذلك (BOD_L) تسمى أقصى أكسجين حيوى مطلوب للمواد الكربونية، ذلك لأنه أثناء الأسبوع الأول تقريبا من التحلل فإن البكتيريا تعمل أساسا على المواد المحتوية على الكربون. ومع مرور الوقت ونقص المواد الكربونية، تنشط أنواع أخرى من البكتيريا. وهذه تسمى بكتيريا النترجة (Nitrifying Bacteria). هذه المجموعة من الكائنات الحية الدقيقة تعيش وتتكاثر مع الأمونيا (NH_3) الغير كربونية فى مياه الصرف حيث تستغلها للطاقة. فى هذه العملية التى تسمى النترجة، تتحول الأمونيا إلى مواد أكثر ثباتا وهى أيونات النيتريت (NO_2^-)، والنترات (NO_3^-) وهى شكل آخر من مركبات النتروجين.

أثناء هذه العملية، تستهلك بكتيريا النترجة أكسجين إضافي، مسببة الارتفاع فى منحنى استهلاك الأكسجين بعد الـ ٨ إلى ١٠ أيام الأولى من التحلل. هذا موضح فى الشكل (٢/١٦). معظم محطات المعالجة لمياه الصرف الصحى تزال فقط الحمل العضوى الكربونى، ولكن يمكن أن يظل الصرف من محطة معالجة تقليدية يعمل على خفض

الأكسجين المذاب في المجارى السطحية التي يتم صرف مياه الصرف المعالجة هذه فيها ذلك بسبب الحمل العضوى النيتروجينى المستهلك (Nitrogenous BOD). أحيانا يلزم بناء نظم معالجة متطورة لإزالة الأمونيا وحماية بيئة الكائنات المائية من نقص الأكسجين بسبب عملية النترجة.



شكل (٢/١٦) المنحنى الكامل للأكسجين الحيوى المطلوب (BOD) يبين التأثير المتأخر للنترجة على إجمالى الأكسجين المطلوب. أكسجين إضافي يستهلك بواسطة بكتريا النترجة حيث تحول الأمونيا إلى النترات.

الأكسجين الكيماوى المطلوب (Chemical Oxygen Demand - COD)

اختبار الحمل العضوى (BOD) هو لقياس المواد العضوية فى المياه والتي تتحلل بيولوجياً أى المواد التي يمكن للكائنات الدقيقة استخدامها بسرعة كغذاء. قد يوجد كذلك مواد لا تتحلل بيولوجياً (Non Biodegradable) أو بطيئة التحلل البيولوجى والتي لا يمكن اكتشافها باختبار (BOD) التقليدى.

اختبار الأكسجين الكيماوى المطلوب (COD) هو مقياس آخر الذى يقيس كل المواد العضوية بما فيها المواد التي لا تتحلل بيولوجياً. وهذا اختبار كيميائى باستخدام عامل مؤكسد قوى (برمنجنات البوتاسيوم) وحامض الكبريتيك وحرارة. نتيجة اختبار COD يمكن الحصول عليها خلال ساعتين فقط، وهذا يعتبر ميزة مقارنة بالخمسة أيام اللازمة لاختبار (BOD) القياسى.

عادة قيم (COD) تكون أعلى من قيم (BOD) لنفس العينة، ولكن عموماً لا توجد علاقة ثابتة بين الاختبارين لمختلف مياه الصرف. بمعنى آخر، إنه ليس مناسباً قياس قيمة COD ببساطة ثم استنتاج قيمة BOD. ذلك لأن معظم محطات معالجة مياه الصرف هي بيولوجية في طريقة عملها، واختبار (BOD) هو الذي تقاس به عملية المعالجة ولذلك فإنه يظل القياس الأكثر استخداماً مقارنة باختبار (COD).

المواد الصلبة : (Solids)

توجد المواد الصلبة في المياه إما في المحلول أو كمادة عالقة. هذين النوعين من المواد الصلبة يمكن تمييزها بتمرير عينة الماء خلال مرشح من الصوف الزجاجي. وبذا فإن المواد الصلبة العالقة تحتجز على المرشح والمواد الصلبة المذابة تمر خلال المرشح مع الماء.

في حالة وضع الجزء الذي تم ترشيحه من الماء في طبق صغير ثم تبخيره، فإن المواد الصلبة المذابة في الماء سوف تظل كراسب في طبق التبخير. هذه المادة تسمى عادة إجمالى المواد الصلبة المذابة، ويرمز لها بالرمز (TDS) وهو اختصار (Total Dissolved Solids). يعبر عن تركيز TDS بالمليجرام في اللتر ويمكن حسابها كالاتى:

$$(٤) \quad TDS = \frac{(A - B) \times 100}{C}$$

حيث :

A = وزن الطبق + الراسب المتبقى بالمليجرام.

B = وزن الطبق الفارغ بالمليجرام.

C = حجم العينة المرشحة بالسنتيمتر المكعب.

مثال :

وزن طبق التبخير الفارغ كان ٤٠,٥٢٥ جرام. بعد ترشيح عينة الماء بحجم ١٠٠ سم^٣ تم تبخيرها من الطبق. وزن الطبق + الراسب المتبقى وجد أنه ٤٠,٥٤٥ جرام. أحسب تركيز المواد الصلبة المذابة.

الحل : باستخدام المعادلة رقم (٤) :

$$\frac{1000 \times (40525 - 40545)}{100 \text{ سم}^3} = \text{إجمالي المواد الصلبة المذابة}$$

$$= \frac{1000 \times 20}{100} = 200 \text{ ملجرام/لتر}$$

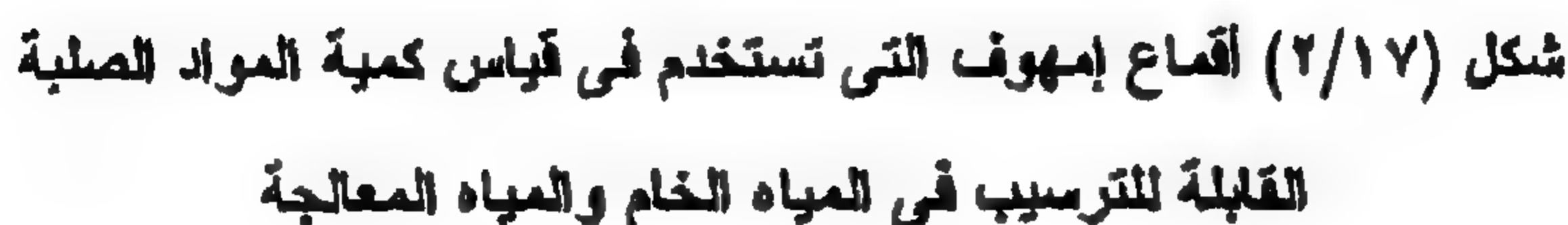
في مياه الشرب المواد الصلبة المذابة يمكن أن تسبب مشاكل بالنسبة للمذاق كذلك فإن العسر، العدوانية للتآكل، أو مشاكل الاستساغة يمكن كذلك أن تصاحب التركيزات العالية من المواد الصلبة المذابة.

في تحاليل مياه الصرف وفي التحكم في تلوث المياه تكون المواد الصلبة العالقة المحتجزة على المرشح ذات أهمية وهي تعرف بالمواد الصلبة العالقة (Total Suspended Solids) TSS.

تركيز المواد الصلبة العالقة يمكن حسابه باستخدام المعادلة رقم (٤) حيث (A) تمثل وزن المرشح + المواد الصلبة المحتجزة، (B) تمثل وزن مادة الترشيح النظيفة، (C) تمثل حجم العينة المرشحة.

أحد الاختبارات الروتينية المستخدمة في محطات معالجة مياه الصرف هو لتحديد كفاءة عملية المعالجة، هو بقياس المواد الصلبة القابلة للتسيب. المواد الصلبة القابلة للتسيب هي الجزء الخشن من المواد الصلبة العالقة والذي يرسب بسرعة بفعل الجاذبية. قمع إمهوف بحجم واحد لتر الموضح في الشكل (٢/١٧) يتم ملؤه بعينة سائل الصرف الصحي. بعد ساعة واحدة من الترسيب من حالة الاستقرار، تتراكم المواد الصلبة عند قاع القمع، القمع مدرج بالسنتيمترات المكعبة وكمية المواد الصلبة القابلة للتسيب تقيم بالسنتيمتر المكعب في اللتر.

تقسيم آخر للمواد الصلبة والذي يعتبر هاماً في معالجة مياه الصرف وهي المواد الصلبة المتطايرة (Volatile Solids). وهذه هي المواد العضوية التي يمكن حرقها أو تطايرها عند درجة حرارة 550°م في فرن. المواد الصلبة المتبقية بعد الحرق عند درجة الحرارة هذه تكون مواد صلبة ثابتة أو غير متطايرة. تركيز المواد الصلبة العالقة المتطايرة هو مؤشر للأحمال العضوية في محطات المعالجة البيولوجية. ويمكن تعيينها بقياس الفقد في الوزن للمرشح من الصوف الزجاجي + المواد الصلبة المتبقية بعد الحرق.



العسر هو تعبير عن خواص نوعية من المياه ذات محتوى عالى من الأملاح المعدنية (أى تركيزات عالية من الأملاح الكلية المذابة). هذه الأملاح المذابة تسبب مشاكل مثل حدوث ترسيبات قشرية (Scales) فى مواسير المياه الساخنة وكذلك صعوبة إحداث رغوة مع استخدام الصابون. الاعتبارات الاقتصادية بخلاف أى اعتبارات ضارة بالصحة تجعل المياه العسر غير مقبولة لدى المستهلك.

أيونات الكالسيوم (Ca^{2+})، أيونات المغنسيوم (Mg^{2+}) يسببان أكبر جزء من العسر في المياه الطبيعية. هذه المواد تصل إلى الماء أساساً عند الالتصاق بالتربة والصخور، وخاصة رواسب الحجر الجيري. عموماً المياه الجوفية تكون ذات عسر أعلى من المياه السطحية نظراً لالتصاقها مع الرواسب المعدنية للتربة لفترة زمنية طويلة.

عادةً يعبر عن العسر بالملجرام/لتر مقيم ككربونات الكالسيوم. المياه ذات عسر أكبر من ٣٠٠ ملجرام/لتر تعتبر مياه عسر والمياه ذات عسر أقل من ٧٥ ملجرام/لتر تعتبر مياه يسر. المياه عالية العسر تسبب التآكل في المواسير المعدنية.

الحديد، المنجنيز، النحاس، الزنك :

رغم أن كلا من الحديد والمنجنيز لا يسببا Fe^{2+} مشاكل صحية، إلا أنهما يسببان المذاق المر في مياه الشرب، حتى عند التركيزات المنخفضة جداً. هذه المعادن توجد عادة في المياه الجوفية في شكل محلول من أيونات الحديدوز Fe^{2+} ، المنجنيز (Manganous) (Mn^{2+}). عند التعرض للهواء الجوي فإنها تكون المركبات الغير مذابة من الحديدك

(Fe³⁺) بما يجعل المياه عكرة وغير مقبولة لدى المستهلك. وهذه كذلك تسبب بقع بني أو سوداء على المنسوجات المغسولة وكذلك في مهمات السباكة.

النحاس والزنك كلاهما غير سام بالتركيزات المنخفضة، كلاهما يسبب مذاقا غير مستساغ لمياه الشرب، وعند التركيزات العالية يسبب الزنك المظهر اللبني للماء.

الفلوريدات (Flourides)

كمية بسيطة من أيونات الفلوريد (F) تعمل على صحة الأسنان، حيث ثبتت من الأبحاث العلمية أن تركيز الفلوريد حتى ١ ملجرام/لتر له تأثير كبير في منع تسوس الأسنان وخاصة بالنسبة للأطفال، بدون أي آثار جانبية. عملية إضافة مركبات الفلور (Flouridation) لمياه الشرب تتم في كثير من دول العالم.

الفلوريدات توجد بشكل طبيعي في المياه في بعض المناطق. عندما يزداد التركيز أما أن يتم استخدام مصدر بديل للمياه أو خفض التركيز لخفض تركيز الفلوريد. ذلك لأن التركيزات الزائدة من الفلوريد تسبب تغير لون الأسنان وهذه الظاهرة تسمى (Dental Fluorosis). يوجد فاصل صغير بين التركيزات المفيدة والضارة من الفلوريد. ففي المناطق الحارة أقصى تركيز مسموح به هو ١,٤ ملجرام/لتر، وفي المناخ البارد يصل التركيز حتى ٢,٤ ملجرام/لتر.

الكلوريدات : (Chlorides)

أيونات الكلوريد (Cl⁻) في مياه الشرب لا تسبب أي تأثيرات ضارة على الصحة العامة، ولكن التركيزات العالية يمكن أن تسبب المذاق المالح الغير مرغوب فيه، مستويات الملوحة في مياه البحار تكون مرتفعة حيث قد تصل إلى حوالى ٣٥٠٠٠ ملجرام/لتر.

الكلوريدات لا توجد عادة بتركيزات في المياه الجوفية أو البحيرات أو المسطحات المائية ذلك فقط في حالة التربة المحتوية على خام الملح الصخري. ولكن وجود تركيزات عالية من الأملاح في المياه العذبة (حوالى ٥٠٠ ملجرام/لتر أو أكثر) يكون بسبب صرف مياه الصرف المعالج أو الخام على المجارى المائية والذي يحتوى على نسبة تركيز عالية من الكلوريدات. كذلك إيلاج المياه المالحة من البحر إلى الخزان الجوفى العذب يكون من أحد المشاكل في المناطق الساحلية.

الكلور المتبقى : (Residual Chlorine)

من المهم التفريق بين أيونات الكلوريد والكلور في الماء، الكلور (Cl_2) لا يوجد طبيعياً في المياه. وهو واحد من أهم الكيماويات التي تضاف إلى الماء ومياه الصرف أساساً لأغراض التطهير.

الكلور في المحاليل المائية المخففة يكون غير ضار للصحة العامة. أحد مميزات الكلور كمادة مطهرة هو أن التركيز المتبقى يمكن أن يظل في نظام توزيع المياه بما يحقق نوعية للمياه صحية وخالية من الكائنات الممرضة، يكون المتبقى من الكلور في مياه الشرب حوالي ٠,٢ ملجرام/لتر. لقياس الكلور المتبقى في عينة الماء تستخدم شحنة الاختبار بمقارنة الألوان (Color Comparator Test Kid) أحد المشاكل المتعلقة بكلورة إمدادات المياه هي أن الكلور يتفاعل مع المواد العضوية الموجودة طبيعياً أساساً من النباتات، التي تسمى المواد المشتقة من النبات (Precursors). وهذه في حد ذاتها ليست ضارة. المركبات التي تسمى التراي هالو ميثان (Trihalomethanes or THMS) تم التعرف عليها كمادة مسرطنة. أحد أهم مركبات التراي هالو ميثان هو الكلوروفورم ($CHCl_3$). الكلور يستبدل ثلاث ذرات من الهيدروجين في جزئي الميثان ليكون الكلوروفورم. ولتجنب مخاطر تكون التراي هالو ميثان فإنه يلزم إزالة هذه المواد العضوية قبل إضافة غاز الكلور. وهذه المواد العضوية الناتجة عن تحلل النبات واختلاطه بالمياه الجوفية أساساً من بينها أحماض الفولفيك (Vulvic Acids). ولذلك في حالة ظهور هذه المواد في المياه فإنه يلزم إزالتها باستخدام المروبات حتى في حالة كون المياه من المصادر الجوفية التي لا تحتاج إلى إزالة المواد العالقة بالمروبات لكونها خالية منها.

الكبريتات : (sulphates)

أيونات الكبريتات (SO_4^{2-})، توجد في المياه الطبيعية وفي مياه الصرف. عند استهلاك تركيزات عالية في مياه الشرب، يمكن وجود مذاق غير مستساغ أو تأثيرات سلبية للإسهال، ولكن لا يوجد خطر على الصحة العامة بفعل الكبريتات.

الكبريتات في مياه الصرف الصحي يمكن أن ينتج عنها رائحة كريهة نتيجة تكون غاز كبريتيد الهيدروجين، مع رائحته المنفرة، كذلك فإن الكبريتات تسبب مشاكل في شبكات الصرف بما يسبب التآكل للقامة الداخلية لماسورة الصرف (Crown Corrosion).

النيتروجين : (Nitrogen)

النيتروجين يوجد في البيئة في أشكال كثيرة ويساهم في كثير من التفاعلات البيوكيماوية. الأشكال الأربعة للنيتروجين ذات العلاقة بتكنولوجيا البيئة هي النيتروجين العضوي، نيتروجين الأمونيا، نيتروجين النيتريت، نيتروجين النترات، دورة النيتروجين في أشكاله المختلفة في البيئة الطبيعية موضح في الشكل (١/٨).

في المياه الملوثة بمياه الصرف الصحي يكون معظم النيتروجين الموجود في شكل جزيئات من المواد العضوية المعقدة (البروتينات) والأمونيا (NH_3). هذه المواد تتحول بفعل البكتريا إلى النيتريت والنترات. النيتروجين خاصة في شكل النترات يعتبر غذاء أساسى لنمو النباتات. زيادة تركيز النترات في المياه السطحية يعمل على سرعة نمو النباتات المجهرية والتي تسمى الطحالب (Algae)، كما أن زيادة نمو الطحالب يقلل من نوعية المياه. هذه المشكلة التي تسمى (Eutrophication) والتي يعنى بها فرط النماء الطحلبى وتعفنه في المياه وما يصاحبه من نقص في الأكسجين المذاب.

النترات يمكن أن تصل إلى المياه الجوفية من الأسمدة الكيماوية المستخدمة في الأراضي الزراعية. التركيزات العالية من النترات في مياه الشرب تشكل خطورة على صحة الأطفال أقل من ٣ سنوات. أيونات النيتريت تتفاعل مع هيموجلوبين الدم، بما يقلل من قدرته على حمل الأكسجين وهذا يسبب مرض يسمى الطفل الأزرق (Blue Baby) أو (Methemoglobinemia).

الفوسفور :

مثل النيتروجين فإن الفوسفور غذاء أساسى الذى يساهم في نمو الطحالب وفي نقص الأكسجين في الماء نتيجة تعفن الطحالب، ذلك رغم أن وجوده في مياه الشرب فتأثيره قليل بالنسبة للصحة العامة. الفوسفور يمكن أن يصل إلى الماء خلال إما من مياه الصرف أو من مياه الصرف الزراعى التي تحتوى على الأسمدة والمخلفات الحيوانية. أملاح الفوسفات (PO_4^{3-}) وهى الشكل الغير عضوى للفوسفور كانت في الماضى تستخدم في المنظفات ولكن رغم الحد من استخدام الفوسفور في صناعة المنظفات إلا أن المصادر الأخرى تمثل مشاكل بيئية كبيرة.

الحموضة، القلوية، والرقم الهيدروجينى (pH) :

المستويات المرتفعة جداً من الحموضة أو القلوية في المياه هى دليل على وجود التلوث الصناعى أو الكيماوى، ولكن الحموضة والقلوية تحدث كذلك بطريقة طبيعية. ثانى

أكسيد الكربون من الجو أو من تنفس الكائنات المائية يسبب الحموضة عند إذابته في الماء مكوناً حامض الكربونيك (H_2CO_3). أيونات الكربونات (CO_3^{2-}) أو البيكربونات (HCO_3^-) المذابة للصوديوم، الكالسيوم أو الماغنسيوم تسبب القلوية الطبيعية > الالتصاق بين الماء والأملاح المعدنية في التربة هو السبب الرئيسى لهذه المواد.

المواد الحامضية تنتج أيونات (H^+) في الماء، والمواد القلوية تنتج أيونات (OH^-). الرقم الهيدروجيني (pH) هو مقياس للحموضة أو القلوية. السبب الرئيسى لقياس الحموضة، القلوية، الرقم الهيدروجيني في الماء هو بغرض التحكم وإدارة عمليات المعالجة للمياه في محطات التنقية. الجرعات المطلوبة لمختلف الكيماويات تتوقف على تركيز الحموضة، القلوية، أو على الرقم الهيدروجيني للماء.

المياه ذات الكميات القليلة من الحموضة أو القلوية يمكن شربها بدون آثار صحية ضارة، ولكن التركيزات العالية تسبب المذاق الغير مرغوب فيه حيث الحامض له مذاق الحموضة والمحاليل القلوية ذات مذاق مر. الحموضة والقلوية في المياه الطبيعية تعمل كعامل درئ (Buffer) الذى يحمى الأسماك والكائنات الأخرى من التغير "مفاجئ" فى الرقم الهيدروجيني. فمثلاً، إذا حدث تلوث لمياه البحر بواسطة مادة كيماوية حامضية والتي بها قلوية طبيعية لمياهها، فإنه يحدث تفاعل تعادل بين المواد الحامضية والقلوية، عندئذ يظل الرقم الهيدروجيني (pH) فى مجال رقم هيدروجيني ما بين ٦ إلى ٩,٥.

المواد السامة والمشعة (Toxic and Radioactive Substances)

نوعيات كثيرة من المواد السامة العضوية والغير عضوية يمكن وجودها بكميات صغيرة أو صغيرة جداً فى الماء. حتى فى حالة وجودها بكميات صغيرة جداً (Trace Amounts) فإنه يمكن وجود تهديد للصحة العامة. بعض المواد السامة يكون من مصادر طبيعية، ولكن الكثير يكون مصدره الأنشطة الصناعية وعدم الإدارة الجيدة للمخلفات الصناعية.

المادة الكيماوية السامة يمكن أن تكون سميّتها مسببة للوفاة أو يمكن أن تسبب المرض والذى لا يمكن ملاحظته إلا بعد سنين كثيرة من التعرض. المادة المسرطنة هي التى تسبب السرطان، المادة التى هي مسببة للطفر الوراثى فى الجينات (Mutagenic) تحدث تأثيرات ضارة لنسل الشخص المعرض.

بعض المعادن الثقيلة المسببة للتسمم هي الكاديوم، الكروم، الرصاص، الزئبق، الفضة والزرنيخ، الباريوم، السيلينيوم هي كذلك عناصر سامة والتي يجب الحد من وجودها فى مياه الشرب.

كثير من المواد الكيماوية العضوية السامة تم التعرف عليها ويتم مراقبتها والحد منها في إمداد المياه للشرب من بين هذه المواد التراي هالو ميثان الذي يتكون بعد الكلورة. المبيدات الحشرية مثل الإندرين (Endrin) والتوكسافين (Toxaphene) هي مواد كربوهيدراتية مكلورة سامة التي يتم رصدها، أما بالنسبة لمادة DDT، الكلورين (Chlordane) فقد تم منع استخدامهما.

تحليل عينات الماء بالنسبة لآثار الملوثات يحتاج إلى أجهزة حديثة ومكلفة. للكشف عن العناصر الثقيلة يستخدم جهاز قياس الطيف الضوئي بالامتصاص الذري (Atomic Absorbion Spectrophotometers) والكشف عن المواد العضوية تستخدم (Chromatograph / Mass Spectrophotometry) وهي أجهزة متاحة في معامل تحاليل نوعية المياه. هذه الأجهزة يمكنها الكشف عن المواد في حالة وجودها بتركيزات منخفضة جداً. بالجزء في المليار أو بالميكروجرام في اللتر.

الإشعاع (Radiation)

انبعاث الجسيمات الأصغر من الذرة (subatomic) أو انبعاث الطاقة من النواة الغير مستقرة لذرات معينة يشار له بالإشعاع، والذي يسبب مخاطر صحية شديدة. من الواضح، أن وجود المواد المشعة في الماء غير مرغوب فيه، وأقصى تركيز مسموح به للمواد المشعة تم تقديره بالنسبة لإمدادات المياه للشرب. المصادر الهامة للملوثات المشعة في الماء تشمل مخلفات محطات الطاقة النووية، وكذلك من عمليات تنقية خام اليورانيوم. الرادون (Radon) يوجد أحياناً بشكل طبيعي في المياه الجوفية، وحدة النشاط الإشعاعي المستخدمة في تطبيقات نوعية المياه هي البيكوكوري/لتر (Pecocurie/L-Pci/L) وهي تكافئ تحليل ذرتين في الدقيقة.

٤ - المعايير البيولوجية لنوعية المياه :

إن وجود أو عدم وجود الكائنات الحية في الماء يمكن أن يكون أهم المؤشرات المفيدة لنوعية الماء. في الأنهار والمجاري المائية والبحيرات، تنوع الأسماك وأجناس الحشرات يوفر قياس للميزان البيولوجي أو الصحي للبيئة المائية. أنواع كثيرة من الأجناس المختلفة من الكائنات عادة توضح ما إذا كان المصدر المائي ملوث أم لا. اختفاء أجناس معينة وتوفر مجموعات أخرى من الكائنات هو عموماً واحد من آثار التلوث. أنواع من الأسماك تختفي من المياه الملوثة، وأنواع أخرى تقاوم. في حالة التلوث الحاد فإن حياة الأسماك تنتهي نهائياً. علماء البيولوجي يمكنهم البحث عن الأسماك والحشرات وحياتها في المياه

الطبيعية ثم تقدير نوعية المياه على أساس حساب مخطط تنوع الأجناس (Species-Diversity Index).

النباتات والحيوانات المجهرية هي كذلك هامة عند تقدير نوعية المياه، وخاصة بالنسبة لمياه الشرب ومياه الصرف الصحي. ولهذا سيتم تناول بعض الحقائق الأساسية عن البكتيريا والكائنات الصغيرة الأخرى، مع التركيز على الكائنات الحية الدقيقة التي تسمى الكوليفورم (Coliforms) والتي هي من أهم المعايير البيولوجية لنوعية المياه.

الكائنات الحية الدقيقة : (Microorganisms)

الكائنات الدقيقة الحيوانية والنباتية تقوم بدور أساسي في عمليات الحياة لكل الكائنات الحية بما فيها الإنسان. على عكس المفهوم الخاطئ أن الميكروبات ضارة، فإن الحقيقة أن معظمها مفيد، وخاصة بالنسبة لدورها في تحلل سلسلة الغذاء. عدد قليل جداً من أجناس الميكروبات هو الذي يسبب مرض الإنسان أو إحداث أضرار بالبيئة.

الكائنات الحية الدقيقة هي كلية الوجود أي أنها توجد في أي مكان في الطبيعة. مثال فإنه يوجد ملايين البكتيريا والخمائر التي تعيش في جرام واحد في تربة الحديقة الغنية. وهذه تقوم بتحلل المواد العضوية، إلى مواد غذائية بسيطة التي يمكن أن تمتص خلال جذور النباتات. كذلك فإن المواد الغذائية تحتوي على كائنات حية دقيقة، مثل الخمائر والتي تسبب التخمر، منتجة ثاني أكسيد الكربون، والكحول من السكريات.

نظراً لأن المواد الغذائية ليست معقمة، فإن الأجسام الأدمية تحتاج مجموعات عادية من البكتيريا في الجهاز الهضمي، مجموعة الكوليفورم من أنواع البكتيريا تكون الجزء الرئيسي من هذه المجموعات. المخلفات الحيوانية تتكون أساساً من الكائنات الحية الدقيقة من الأمعاء. رغم أن مياه الصرف الصحي تحتوي على ملايين الميكروبات في كل سم³، إلا أن معظمها غير ضار. إنه فقط في حالة وجود مخلفات من أشخاص مرضى بأمراض معدية مختلطة بمياه الصرف الصحي، حيث يمثل ذلك وجود كائنات ضارة في مياه "صرف".

البكتيريا : (Bacteria)

تعتبر البكتيريا من النباتات وحيدة الخلية بسبب تكوين خلاياها وطريقة حصولها على الغذاء. وهي تستخدم الغذاء المذاب الذي يؤخذ خلال جدار الخلية القوي ولكن البكتيريا لا تشبه النباتات الخضراء والتي تستخدم التمثيل الضوئي، والبكتيريا لا تنتج غذاءها.

البكتريا صغيرة جدا حيث يصل حجمها إلى حوالي ٠,٢ ميكرون، ويمكن رؤيتها فقط بالمجهر، وهي توجد في ثلاثة أنواع من أشكال الخلية: وهي الشكل العصوي (Rod-Shaped) أو الباسيليليس (Bacillus)، الشكل الكروي (Sphere-Shaped) أو الكوكاس (Coccus)، والشكل اللولبي (Spiral-Shaped) أو الإسبير بيلاسي (Sperellus). في بعض الحالات الخلايا المستقلة تنمو معا في مجموعات ضخمة أو سلاسل. مثال لنوع البكتريا الذي ينمو في شكل تسلسل أو شعيرة محاطة خلال غلاف طويل أو أنبوبة هي بكتريا (Sphaerolilus Natas). النمو الزائد لهذه الكائنات الشعيرية معروف أنه من أحد أسباب انخفاض كفاءة المعالجة في محطات معالجة مياه الصرف الصحي. في أقل من ٣٠ دقيقة فإن البكتريا الواحدة يمكن أن تنقسم إلى خليتين جديدتين. عملية التكاثر هذه تسمى الانقسام (Binary). في الظروف الجيدة من توفير الغذاء ودرجة الحرارة والرقم الهيدروجيني يمكن للبكتريا أن تتكاثر بسرعة حتى أن مزرعة البكتريا يمكن أن تحتوى على ما يقرب من ٢٠ مليون خلية مستقلة في واحد سنتيمتر مكعب بعد يوم واحد من النمو. هذا النمو السريع للتجمعات المرئية (Visible Colonies) من البكتريا على مجال غذائي مناسب يمكن من اكتشافها وإمكان عد أعداد البكتريا في الماء.

توجد فروق عديدة بين أنواع البكتريا. أحدها يتوقف على طريقة أيض (Metabolize) غذائها. البكتريا التي تحتاج للأكسجين (الميتابوليزم) تسمى البكتريا الهوائية أو (Aerobes). وتلك التي تعيش في البيئة الخالية من الأكسجين تسمى البكتريا اللاهوائية (Anaerobes). التفرقة بين هذين النوعين له أهمية كبيرة في تلوث المياه وفي معالجة مياه الصرف. (توجد أنواع أخرى تسمى البكتريا (Facultative) والتي يمكن أن تعيش في عدم وجود الأكسجين وفي وجود الأكسجين).

اختلاف آخر بين أنواع البكتريا وهو بدالة الغذاء الذي تحتاجه تلك التي تستخدم المركبات الغير عضوية البسيطة لغذائها تسمى البكتريا ذاتية الغذاء (Autotrophic)، وتلك التي تحتاج مركبات عضوية معقدة تسمى البكتريا متباينة الغذاء (Heterotrophic). بكتريا النترجة (Nitrifying) كمثال التي تستخدم الأمونيا كغذاء وتحولها إلى النترات هي ذاتية الغذاء. مثال آخر لذاتية الغذاء هو بكتريا الحديد وبكتريا الكبريت. بكتريا الحديد تعيش في بعض مواسير المياه وعادة تسبب مشاكل المذاق والرائحة في مياه الشرب بسبب تكاثرها بفعل أكسدة الحديد (Iron Oxidizing Bacteria). بكتريا الكبريت والتي هي كذلك لا هوائية تنشط في شبكات الصرف الصحي بما يعجل من تلف المواسير الخرسانية وذلك باختزال الكبريتات إلى كبريتيد الهيدروجين والذي يتحول إلى حامض الكبريتيك. أحد

العوامل الهامة ذات التأثير على نمو وتكاثر البكتريا هو درجة الحرارة. عن درجات الحرارة المنخفضة تنمو البكتريا وتتكاثر ببطء. مع ارتفاع درجة الحرارة فإن معدل النمو والتكاثر يتضاعف لكل ارتفاع في درجة الحرارة قدره ١٠°م (حتى أقصى درجة الحرارة طبقاً للنوع). معظم أنواع البكتريا تنقسم إلى أليف الاعتدال الحرارى (Mesophilic) ذات أقصى درجة حرارة ٣٥°م. تلك التى تنشط بطريقة أفضل عند درجات الحرارة المرتفعة حتى حوالى 60°م تسمى البكتريا أليفة الحرارة (Thermophilic). البكتريا ذات أقصى درجة حرارة للنمو ما بين صفر حتى ٢٠°م تسمى بكتريا التى تآلف رطوبة الجو (Psycrophilic).

الطحالب : (Algae)

الطحالب هى نباتات مجهرية، والتى تحتوى على صبغات التمثيل الضوئى مثل الكلوروفيل وهى كائنات ذاتية الغذاء (Autotrophic) وتساعد نفسها بتحويل المواد الغير عضوية إلى مادة عضوية باستخدام الطاقة الشمسية. أثناء عملية التمثيل الضوئى فإنها تأخذ ثانى أكسيد الكربون من الجو وتخرج الأكسجين.

الخاصية الأساسية لهذه النباتات البسيطة هى خلوها من الجذور، السيقان، الأوراق. الطحالب حرة الطفو تسمى العوالق النباتية (Phytoplankton). كائنات حية عالقة فى الماء (Planktons) عبارة عن نباتات أو حيوانات دقيقة طافية التى تعيش إما فى الماء العذب أو المياه المالحة. أكثر من ٩٠% من أكسجين الهواء الجوى ينتج بواسطة - المياه المالحة أو العوالق النباتية البحرية (Marina phytoplankton)، بعملية التمثيل الضوئى (Photosynthesis). رغم هذا فإن معظم أنواع الطحالب يكون مجهرى، يمكن ملاحظته بسهولة عندما تنتشر وتتكاثر (Proliferate) فى الماء. التكاثر الزائد للطحالب، يسمى غشاء طحلبى (Algal Bloom) عادة لا يرى. بعض أنواع الطحالب تكون متعددة الخلايا، وتنمو فى شكل شعيرات (Filaments) التى تظهر أحيانا كقاذورات خضراء فى الماء.

الأنواع العادية تشمل الطحالب ذات اللون الأزرق المخضر (Blue-Green) مثل (Anabaena)، الطحالب الخضراء مثل (Spyrogura)، الطحالب ذات اللون الأصفر المخضر (Yellow-Green) مثل (Botrydium)، والطحالب الحمراء مثل (Gelidium). مجموعة أخرى هامة من الطحالب التى تسمى الدياتوم (Diatoms)، وهذه تنتج صدفات صلبة من السيليكا. رواسب هذه الصدفات من الدياتومات الميتة التى تراكمت خلال مئات

السنين من التربة الدياتومية (Diatomaceous Earth) وهي المادة المستخدمة أحيانا كوسيط ترشيحي للمياه.

الطحالب تقوم بدورها في فرط النماء الطحلي وتعفنه في الماء (eutrophication) للبحيرات وهي كذلك هامة في معالجة مياه الصرف في برك الأكسدة بالنسبة للصحة العامة تعتبر الطحالب كائنات مزعجة في إمدادات المياه بسبب المشاكل التي تسببها بالنسبة للمذاق والرائحة التي تنتجها والتكاليف الزائدة اللازمة لترشيحها من الماء. أحيانا أصناف معينة من الطحالب تسبب مشاكل صحية وبيئية، فمثلا الطحالب الزرقاء المخضرة يمكن أن تقتل القطعان والحيوانات المنزلية الأخرى في حالة شرب هذه الحيوانات للماء المحتوي على هذا النوع من الطحالب. الطحلب السام الذي يسمى (Pfiesteria) يمكنه قتل الأسماك ويسبب المرض للإنسان المستخدم للماء المحتوي على هذا النوع. نوع آخر (Chattonella Yerruculosa) يمكنه قتل الأسماك ويسبب المرض لـ (Beach-Goers) عند حدوث ما يسمى بالمد والجذر الأحمر في مياه البحر (Red-Tides).

البروتوزوا : (Protozoa)

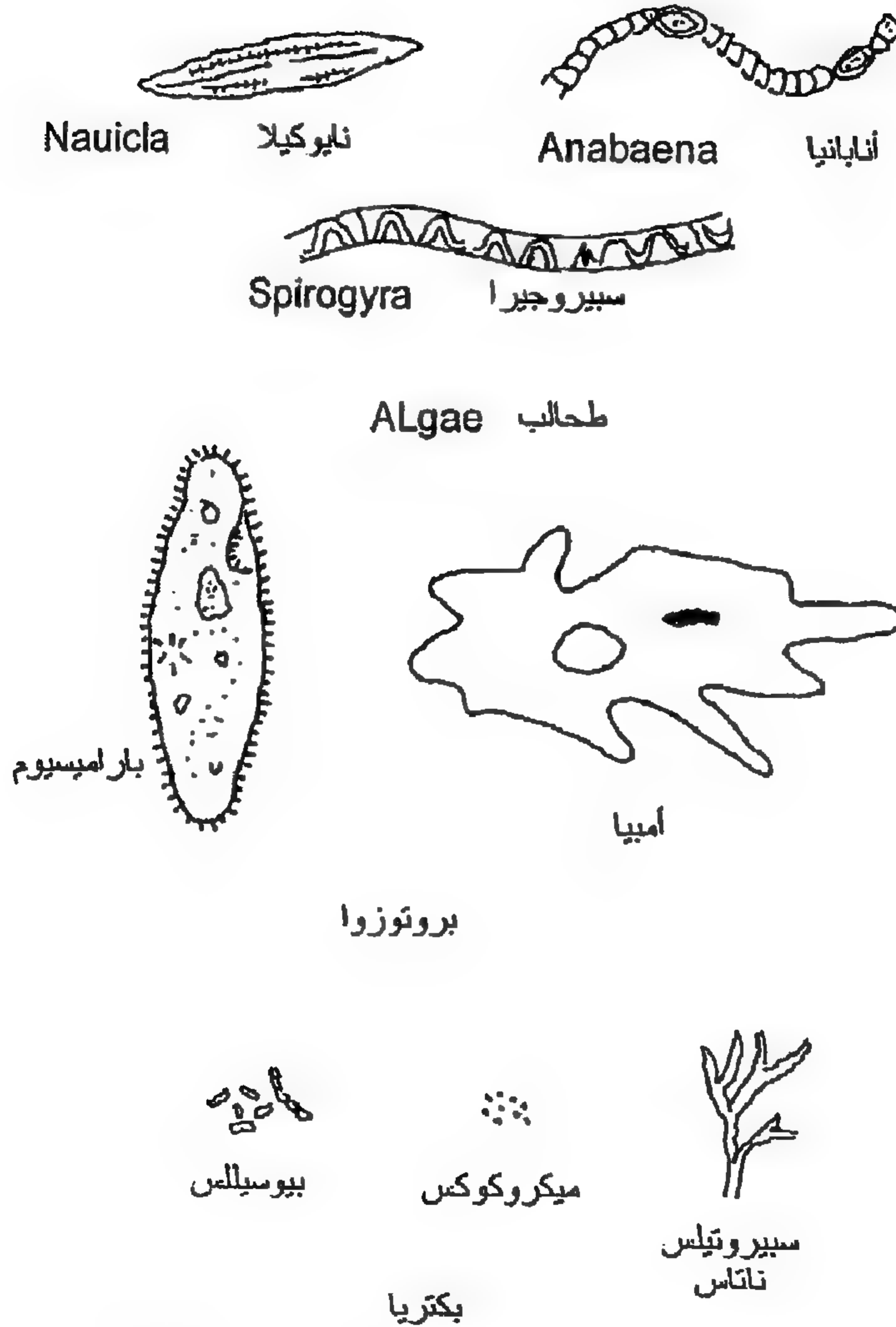
البروتوزوا هي أصغر الكائنات الحيوانية، هذه الحيوانات ذات الخلية الواحدة المجهرية تستهلك الأجسام العضوية الصلبة، البكتيريا، والطحالب لغذائها. وهي بالتالي يتم هضمها كغذاء بواسطة الكائنات الحيوانية الأعلى ذات الخلايا المتعددة. والأصناف ذات الطفو في الماء والتي تسمى (Zooplankton) تعتبر جزءا حيويا لسلسلة الغذاء للكائنات المائية، وهي كذلك ذات تأثير في عمليات المعالجة البيولوجية لمياه الصرف.

الأميبيا (Amebae) هي البروتوزوا التي تتحرك بطرح مقاطع من أجسامها، هذا البروتوبلازم المتحرك للأميبيا يستخدم كذلك لإحاطة وتغليف جسيمات الغذاء. عادة توجد الأميبيا عادة في العفن (Slimes) المتكون في أنواع معينة من عمليات المعالجة لمياه الصرف الصحي.

مجموعة البروتوزوا التي تسمى (Flagellates) تتحرك دائريا في الماء بواسطة (Strand) في شكل الخيط الطويل الذي يسمى (Flagellum)، والذي يدفعها بفعل أدائه السوطي. أحد هذه الكائنات (Giardialamblia) عند الابتلاع يسبب الدسنتاريا في الإنسان، نوع آخر من البروتوزوا له مئات من الشعيرات القصيرة التي تسمى (Cilia) والتي تدفع الكائن خلال الماء وتقوم بتوجيه الغذاء نحو جهازها الهضمي. فمثلا نوع (Paramecia) من البروتوزوا (Ciliated) يوجد عادة في بحيرات وبرك المياه العذبة.

أنواع من البروتوزوا التي تسمى (Cryptosporidium) وجد أنها تسبب أمراضا معوية، وهذه توجد عادة في البحيرات وفي المجارى المائية وهي شديدة المقاومة للتطهير بالكلور وخاصة الحويصلات (Cysts)، إلا أنه يمكن تطهيرها بالأوزون كما أن عمليات الترويب والترسيب والترشيح تعمل على إزالتها.

أنواع البروتوزوا المختلفة وكذلك الأشكال العادية للطحالب والبكتريا موضح في الشكل (٢/١٨).



شكل (٢/١٨) أشكال لبعض الكائنات الدقيقة الموجودة في الماء وفي مياه الصرف

الفيروسات : (Viruses)

الفيروسات هي كائنات ممرضة صغيرة جداً، وهي صغيرة حتى أنه يمكنها المرور خلال المرشحات التي لا تسمح بمرور البكتيريا، معظم الفيروسات يمكن رؤيتها فقط باستخدام المجهر الإلكتروني القوي. نظراً لأن الفيروسات لا تستطيع أن تعيش مستقلة وتتكاثر، لذلك فإن القول بأنها كائنات حية محل شك. لتكاثر، فإن الفيروسات يجب أن تقتحم ملاصقة لخلايا حية مناسبة وتحصل على عمليات الأيض للخلايا لاستخدامها الخاص.

الفيروسات يمكن أن تسبب عديد من الأمراض للإنسان، بما فيها مرض الجدري (Chickenpox)، الربو، الحمى الصفراء، شلل الأطفال (Polio)، الأنفلونزا، بعض الأمراض المعدية، البرد العادي. يمكن أن تنتقل الفيروسات من خلال الهضم للمياه الملوثة بمياه الصرف الصحي. الفيروسات التي تسبب العدوى لخلايا الجهاز الهضمي للإنسان تسمى (Enteric Viruses or Entroviruses).

كثيراً من أنواع العدوى الضارة يمكن مقاومتها باستخدام الأمصال أو بواسطة الإبادة للحشرات الناقلة (Eradication of Insect vectors) التي تنقل الفيروسات إلى الإنسان. معظم المياه الملوثة بالفيروسات يمكن إيقاف نشاطها بطرق معالجة المياه التي تشمل الترويب، الترشيح والتطهير والذي يتم فيها إزالة المواد التي تتداخل مع التطهير.

كائنات المؤشر : (Indicator Orgainsms)

أحد أهم عوامل النوعية الجيدة للمياه هو خلوها من الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض - وهي البكتيريا الممرضة Pathogenic، الفيروسات، البروتوزوا، أو الديدان الطفيلية، المياه الملوثة بمياه الصرف الصحي قد تحتوي على مثل هذه الكائنات الدقيقة التي تفرز في غائط الأشخاص حاملي العدوى. في حالة شرب المياه بواسطة آخرين قبل معالجتها جيداً، فإن دورة المرض يمكن أن تستمر في شكل وبائي شائع.

اختبار المياه لوجود كائنات ممرضة (Salamonella Typhosa) التي تسبب حمى التيفود أو البروتوزوا المسببة للدستاريا مثل الإنتاميبا هستوليتيكا، يكون من المهام العملية الصعبة، ومضيعة للوقت نظراً لأنه اختبار غير عملي، تركيزات هذه الكائنات في عينة المياه الملوثة يمكن أن يكون صغيراً جداً بحيث يصعب الكشف عنها، بما يجعل

من الضروري اختبار أحجام كبيرة من المياه. كذلك يكون من الضروري الاختبار لأنواع كثيرة من الكائنات قبل اعتبار أن المياه آمنة.

الطريقة العملية والتي يعتمد عليها أكثر من الاختبارات لكل الكائنات الممرضة هي الاختبار لنوع واحد الذي يعطى إشارة عن احتمال وجود تلوث من الصرف الصحي، في حالة وجود الصرف الصحي في الماء، فإنه يمكن افتراض أن الكائنات الممرضة هي كذلك موجودة وبذا يكون هناك تهديدا للصحة العامة. نوع الكائنات الذي يقوم بهذا الغرض يسمى كائنات المؤشر.

بكتريا الكوليفورم : (Coliforms)

المؤشر البيولوجي الهام لنوعية المياه والتلوث المستخدم في تكنولوجيا البيئة هو مجموعة من البكتريا تسمى الكوليفورم. ليست ممرضة، الكوليفورم موجود دائما في مجرى الغائط للإنسان، حيث تخرج ملايين من المخلفات الآدمية، وبالتالي فإن المياه الحديثة التلوث بمياه الصرف الصحي ستكون دائما محتوية على الكوليفورم.

نوع خاص من الكوليفورم وجد في الصرف الصحي المنزلى هو (Escherichia Coli) ويرمز له (E-Coli). حتى في حالة التلوث القليل للماء، فإنه يحتمل وجودها، حيث يوجد تقريبا حوالى ٢٣ مليون من بكتريا E-Coli في كل ١٠٠ سم^٣ من مياه الصرف الغير معالج. معظم سلاسلات E-Coli تكون عموما غير ضارة، ولكن الأشخاص حاملي العدوى هي كذلك تفرز كائنات ممرضة جنبا إلى جنب مع الكوليفورم.

بكتريا الكوليفورم عبارة عن كائنات شديدة القدرة على الاحتمال وتعيش في الماء أطول من معظم الكائنات الممرضة. كذلك فهي من السهل الكشف عنها. عموما يمكن القول أنه في حالة وجود عينة من الماء غير محتوية على الكوليفورم عندئذ لا يكون هناك احتمال تلوث حديث بمياه الصرف الصحي وأن وجود الكائنات الممرضة غير محتمل إطلاقا. على الجانب الآخر، إذا تم اكتشاف الكوليفورم فإنه يكون احتمال تلوث حديث بمياه الصرف الصحي، ولكن يكون مطلوب اختبارات إضافية لإثبات أن الكوليفورم من مياه الصرف الصحي وليس من مصادر أخرى.

بالاختصار يمكن القول :

لا كوليفورم ← لا صرف صحي ← لا كائنات ممرضة.

الكوليفورم هو حقيقة مجموعة كبيرة من الكائنات الحية الدقيقة. وهي توجد في التربة بشكل طبيعي وكذلك في الجهاز الهضمي لكل الكائنات الحيوانية ذات الدم الحار، بما فيها الإنسان. يكون من الضروري التفرقة بين مجموعتين الكوليفورم الكلى، الكوليفورم الغائطي. الكوليفورم الكلى يشير إلى كل أنواع المجموعة بصرف النظر عن مصدرها، أما الكوليفورم الغائطي هو من إفرازات ذوات الدم الحار. E-Coli هو كوليفورم غائطي من الإنسان.

اختبار الكوليفورم الكلى يستخدم عملياً لتحليل مياه الشرب لتحسين نوعية المياه الصحية. مياه الشرب يجب أن تكون خالية من الكوليفورم من أى نوع. على الجانب الآخر، اختبار الكوليفورم الغائطي أكثر مناسبة لرصد التلوث للمياه السطحية الطبيعية أو المياه الجوفية. نظراً لأن عد الكوليفورم الكلى سيكون غير حاسماً في هذه الحالة. محطات معالجة مياه الصرف الصحي ومعالجة مياه الصرف الصناعي يجب أن تجرى اختبار الكوليفورم الغائطي لمياه الصرف قبل صرفها على المسطحات المائية للتأكد من حسن أداء عملية التطهير.

نسبة بكتريا الكوليفورم إلى البكتريا العقدية :

(Fecal Coliform to Fecal Strep Ratio)

يكون من الضروري أحياناً تعيين، إذا كان الكوليفورم الغائطي في عينة الاختبار من أصل آدمي أو من أصل حيواني. وجود نوع آخر من البكتريا المسمى البكتريا الغائطية العقدية (Fecal Streptococcus) يمكن أن يوفر المفتاح الضروري. بكتريا العقدية الغائطية هي كذلك بكتريا غائطية ولكنها تكون أكثر من بكتريا الكوليفورم في الحيوانات بخلاف الإنسان. عندما تكون نسبة عدد بكتريا الكوليفورم الغائطي إلى البكتريا العقدية أكثر من الضعف فإن التلوث يكون من مصدر آدمي. وعندما تكون النسبة أقل من واحد صحيح عندئذ يكون مصدر التلوث هو من المخلفات الحيوانية. نسبة بكتريا الكوليفورم الغائطي إلى بكتريا العقدية، بين ١ إلى ٢ تكون غير حاسمة. بالإضافة إلى نسبة الكوليفورم الغائطي إلى بكتريا العقدية فإنه يلزم عمل أبحاث ميدانية تسمى المباحث الصحية لتعيين مصدر تلوث المياه. في هذه المباحث الميدانية الصحية يتم دراسة عدة عوامل منها حدود النشاط الزراعي، ومكان وحالة السكان، ومدى وجود الصرف الموضعي لمخلفات الصرف الصحي.

اختبار الكوليفورم : (Testing for Coliforms)

يمكن استخدام طريقتين للكشف عن الكوليفورم وقياسه في الماء - طريقة المرشح الغشائي وطريقة تخمر الأنابيب المتعددة . طريقة المرشح الغشائي تستغرق وقتاً أقل وتوفر العد المباشر للكوليفورم أكثر من طريقة الأنابيب المتعددة. رغم أن طريقة المرشح الغشائي هي السائدة الاستخدام، إلا أن طريقة الأنابيب المتعددة مازالت في بعض المعامل، حيث أن طريقة المرشح الغشائي لا يناسب استخدامها العينات العكرة. من المهم تفهم الفرق الأساسي بين الطريقتين.

طريقة المرشح الغشائي : (Membrane Filter Method)

في هذه الطريقة يتم سحب حجم معين من العينة خلال غشاء خاص بتسليط التفريغ الجزئي (Partial Vacuum). المرشح في شكل قرص ورقي مستوى في حجم الدولار الفضي، له ثقب مجهرية منتظمة وصغيرة بما يكفي لحجز البكتريا على سطحها بينما تسمح بمرور المياه.

بعد سحب العينة، يتم وضع المرشح في وعاء معقم يسمى طبق بيتري (Petri-Dish). طبق بيتري يحتوي كذلك على مجال إنماء خاص (Culture Medium) حيث تستخدمه البكتريا كمصدر للغذاء. هذا المجال الغذائي يكون عادة متاح في أوعية زجاجية صغيرة تسمى (Ampoules) حيث ينقل منها سريعاً إلى طبق بيتري. مكوناته هي أنها تساعد على نمو الكوليفورم بينما تعرقل نمو البكتريا المحبوسة على المرشح.

جهاز المرشح الغشائي موضح في الشكل (٢/١٩) والمرشح يظهر موضوعاً في طبق بيتري في الشكل (٢/٢٠).

طبق بيتري الذي يحتوي المرشح والمجال الغذائي يوضع عادة في حضانة، والتي تحافظ على درجة الحرارة عند ٣٢°م، لمدة ٢٤ ساعة. بعد التحضين مجموعات (Colonies) بكتريا الكوليفورم، كل يحتوي ملايين الكائنات ستكون مرئية، وهي تظهر كنقط أو بقع ذات خاصية الشكل الأخضر المعدني.

تركيز الكوليفورم يتم الحصول عليه بعد عدد التجمعات (المستعمرات) على المرشح. المقدمة الأساسية لاختبار المرشح الغشائي هو أن كل مجموعة (مستعمرة) بدأت النمو من كائن واحد. من هنا يمكن افتراض أن كل مستعمرة تم عدها تمثل كوليفورم واحد فقط في العينة الأصلية.

المرشح له شبكة من خطوط متصالبة مطبوعة عليها لتسهيل عد المستعمرات، استخدام عدسة تكبير تساعد في الحصول على نتائج دقيقة. العينات الصغيرة من المياه الملونة أو من مياه الصرف يجب أن يتم تخفيفها بالمياه المعقمة قبل الترشيح بحيث لا يتم التزاحم الزائد بالمستعمرات على المرشح، والذي يجعل الحصول على النتائج الدقيقة مستحيل.

يعبر عن تركيز الكوليفورم بعد الكائنات الدقيقة في ١٠٠ سم³ من الماء، يمكن استخدام المعادلة التالية لتقدير النتائج للعينات بمختلف الأحجام.

$$\frac{\text{عدد المستعمرات} \times 100}{\text{سم}^3 \text{ من العينة}} = \text{الكوليفورم في كل 100 سم}^3$$

مثال :

عينة من الماء بحجم ٤ سم³ من مجرى مائي تم سحبها خلال المرشح الغشائي. تم تغطية المرشح أولاً بالماء المعقم للتخفيف ونشر العينة، بانتظام فوق المرشح، ثم عد ست عشرة مستعمرة على المرشح بعد التحضين لمدة ٢٤ ساعة عند درجة حرارة 32°م. عين الكوليفورم في ١٠٠ سم³.

الحل : باستخدام المعادلة السابقة :

$$\text{المستعمرات في 100 سم}^3 = \frac{16 \times 100}{4} = 400$$

الطريقة الأساسية التي تم توضيحها لاختبار المرشح الغشائي يمكن استخدامها لاختبارات الكوليفورم الكلي أو الكوليفورم الغائطي، ولكن يتم استخدام مجالات غذائية مختلفة، وأن يتم عمل اختبار الكوليفورم الغائطي عند ٤٤,٥°م وليس عند 35°م. يستخدم حمام ماء خاص للتحضين للمحافظة على استمرار درجة الحرارة العالية لاختبار الكوليفورم الغائطي. تقنية المرشح الغشائي يمكن استخدامها كذلك لاختبار بكتريا العقد الغائطية (Fecal Strep).

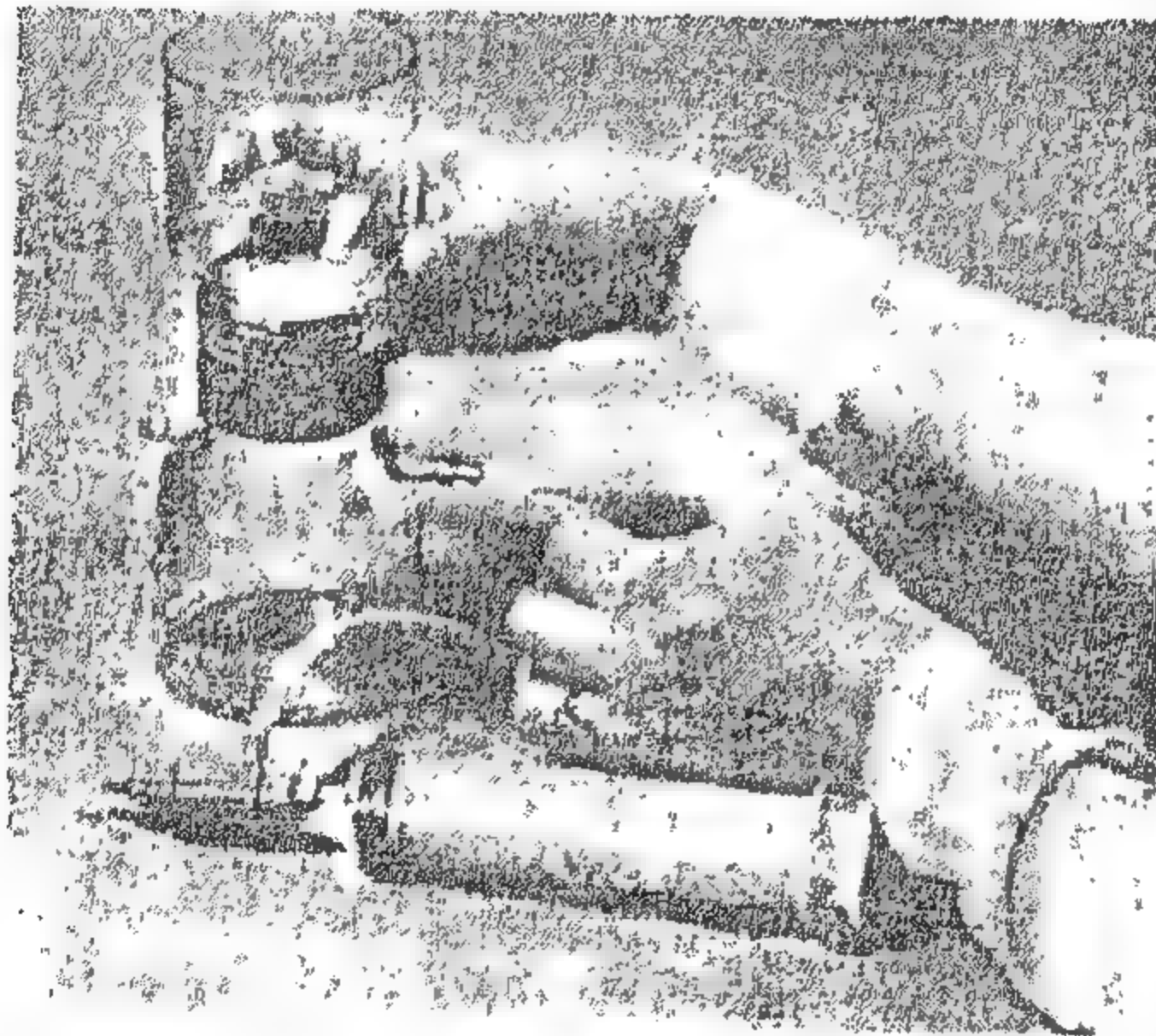
طريقة التخمير بالأنابيب - المتعددة :

Multiple - Tube Fermentation Method :

هذه التقنية مبنية على حقيقة أن كائنات الكوليفورم يمكن أن تستخدم اللاكتوز، السكر الموجود في اللبن كغذاء وإنتاج غاز. في هذه الطريقة يتم إضافة حجم معين من عينة

الماء إلى أنبوب محتوي على مادة الغذاء من حساء اللاكتوز الرقيق. قنينة صغيرة مقلوبة في حساء اللاكتوز تحتجز بعض من الغاز الذي يتم إنتاجه مع نمو بكتريا الكوليفورم وتكاثرها. فقاعة الغاز في الأنبوب المقلوب مع المظهر المعتم (Cloudy) للحساء يوفر دلالة مرئية أن الكوليفورم يمكن وجوده في العينة. ولكن في حالة عدم إنتاج الغاز خلال ٤٨ ساعة من التحضين عند 35°م، فإنه يمكن استنتاج أن الكوليفورم لم يكن موجودا في حجم العينة التي تم حقنها في الحساء. وهذا موضح في الشكل ٢/٢١.

عدم تكون الغاز بعد التحضين يسمى اختبار سالب (Negative Test)، مظهر الغاز وما يصاحبه عن عتامة في الحساء يسمى اختبار افتراضي موجب (Postivie Presumptive Test). بعض البكتريا بخلاف الكوليفورم أحيانا تنتج غاز من اللاكتوز. لهذا السبب، يكون من الضروري عادة عمل اختبار آخر.

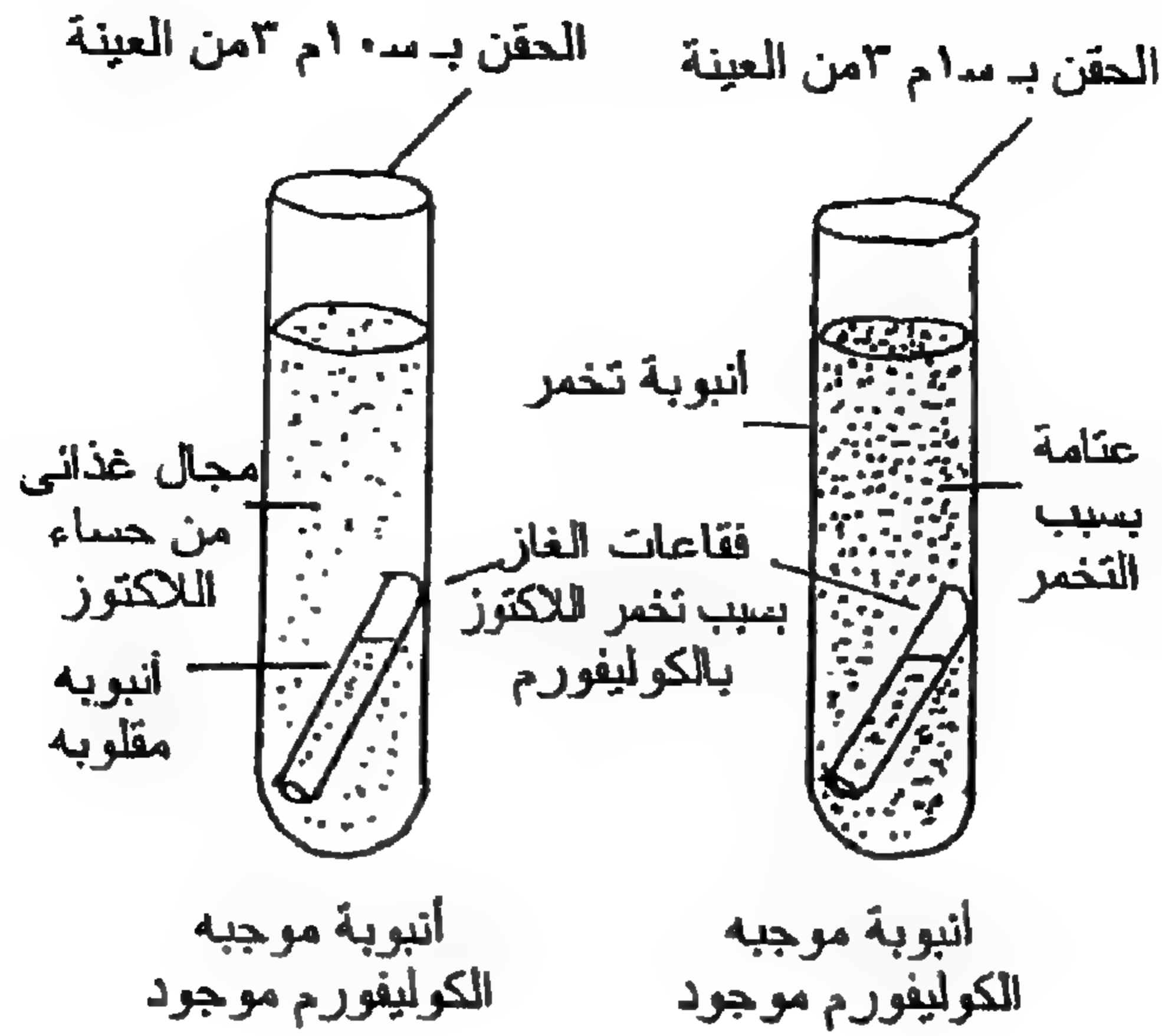


شكل (٢/١٩) جهاز لكشف وعد البكتريا في المياه ومياه الصرف

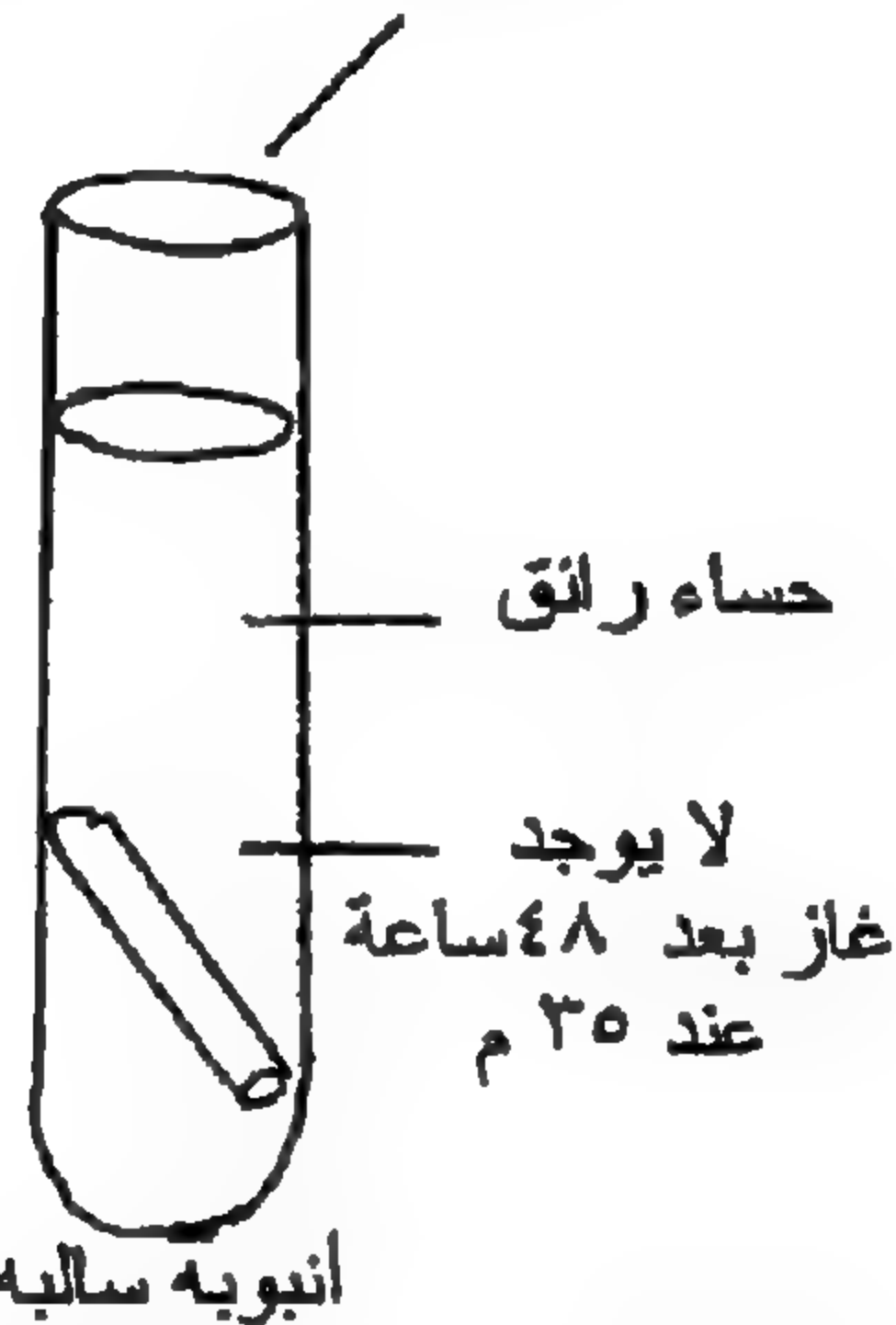


تلك التجمعات المرئية لها خاصية الشكل الأخضر المعدني حيث يمكن التعرف عليها سريعا

شكل (٢/٢٠) بعد الترشيح يوضع مرشح الغشاء في طبق بيتري المحتوي على مجال غذائي تنمو البكتريا فوق الغشاء في شكل تجمعات مرئية.



الحقن بـ ١ سم ٣ من العينة



لا يوجد كوليفورم في حجم العينة ١ سم ٣

شكل (٢/٢١) اختبار موجب في أنبوبة التخمر (فقاعات الغاز محتجزة وعتامة في حساء اللاكتوز) مؤشر لاحتمال وجود الكوليفورم في العينة كلما زاد حجم العينة كلما زاد احتمال اختبار موجب للأنبوبة

اختبار آخر يسمى الاختبار المؤكد، لإثبات أن بكتريا الكوليفورم هي التي أنتجت الغاز في أنبوبة الاختبار الافتراضي الموجب.

الاختبار المؤكد يشمل المجال الغذائي من أنبوبة الفرضية الموجبة إلى أنبوبة تخمر أخرى التي تحتوى مجال غذائي مختلف، والذي يسمى المراجعة الخضراء اللامعة

(Brillinat Green Bile). الآن إذا تكون الغاز خلال ٤٨ ساعة من التحضين عند ٣٥°م، فإن وجود الكوليفورم يصبح مؤكدا. في بعض الحالات، طريقة ثالثة تسمى الاختبار التام (Completed Test)، يمكن عملها. طريقة أنبوب التخمر يمكن استخدامها لاختبار الكوليفورم الغائطي وكذلك الكوليفورم الكلى، ولكن درجة الحرارة المرتفعة تستخدم ٤٤,٥°م تستخدم للكائنات الغائطية.

العد الأكثر احتمالا : (Most Probable Number)

إنتاج الغاز في أنبوبة تخمير واحدة يمكن أن يبين وجود الكوليفورم، ولكنه لا يعطى أى بيان مؤكد عن تركيز البكتريا في العينة. العد للبكتريا لا يمكن الحصول عليه مباشرة. يمكن أن تكون فقاعة الغاز بسبب بكتريا واحدة أو بالآلاف. لتقدير العدد الحقيقى للكائنات، يجب استخدام عدة سلسلة مضاعفة من أنابيب التخمر بأحجام عينات مختلفة. مع زيادة حجم العينة الموضوعة في أنبوبة التخمر فإن احتمال وجود الكوليفورم في الأنبوبة يزداد. باستخدام نظرية الإحصاء والاحتمالات يمكن تحليل مجموعة النتائج الموجبة والسالبة في سلسلة الأنابيب المضاعفة وتحديد العد الأكثر احتمالا للكوليفورم في العينة الأصلية، والذي يشار إليه بالرمز (MPN).

يعبر عن العد الأكثر احتمالا بعدد الكوليفورم في ١٠٠ سم^٣، ولكن كما هو واضح من التسمية فإنه تخمين مبنى على معادلات الاحتمالات وليس العد المباشر للكائنات. التحليل الإحصائى تم استخدامه لعدد من التخفيف للأنبوب.

لتوضيح ذلك فإن قيم العد الأكثر احتمالا باستخدام سلسلة من تسعة أنابيب موضح في الجدول (٢/٤). تم تلقى ثلاث من بين التسع أنابيب بـ ١٠ سم^٣ من العينة، ثلاثة تم تلقىها بـ ١ سم^٣ من العينة، ثلاثة بـ ٠,١ سم^٣. المثال القالى يوضح استخدام الجدول :

جدول (٢/٤) مخطط العد الأكثر احتمالاً و ٩٥% حدود الثقة لمجموعات مختلفة لنتائج موجبة وسالبة عند استخدام ثلاثة أجزاء ١٠ سم ٣، ثلاثة أجزاء ١ سم ٣، ثلاثة أجزاء ١ سم ٣.

حدود ٩٥% ثقة		مؤشر العد الأكثر احتمالاً لكل ١٠٠ سم ٣	عدد الأتاييب التي أعطت تفاعل موجب من بين		
أعلى	أقل		٣ كل ١ سم ٣	٣ كل ١ سم ٣	٣ كل ١٠ سم ٣
٩	٠,٥ >	٣	١	صفر	صفر
١٣	٠,٥ >	٣	صفر	١	صفر
٢٠	٠,٥ >	٤	صفر	صفر	١
٢١	١	٧	١	صفر	١
٢٣	١	٧	صفر	١	١
٣٦	٣	١١	١	١	١
٣٦	٣	١١	صفر	٢	١
٣٦	١	٩	صفر	صفر	٢
٣٧	٣	١٤	١	صفر	٢
٤٤	٣	١٥	صفر	١	٢
٨٩	٧	٢٠	١	١	٢
٤٧	٤	٢١	صفر	٢	٢
١٥٠	١٠	٢٨	١	٢	٢
١٢٠	٤	٢٣	صفر	صفر	٣

١٣٠	٧	٣٩	١	صفر	٣
٣٨٠	١٥	٦٤	٢	صفر	٣
٢١٠	٧	٤٣	صفر	١	٣
٢٣٠	١٤	٧٥	١	١	٣
٣٨٠	٣٠	١٢٠	٢	١	٣
٤٤٠	١٥	٩٣	صفر	٢	٣
٤٧٠	٣٠	١٥٠	١	٢	٣
١٣٠٠	٣٥	٢١٠	٢	٢	٣
٢٤٠٠	٣٦	٢٤٠	صفر	٣	٣
٢٨٠٠	٧١	٤٦٠	١	٣	٣
٤٨٠٠	١٥٠	١١٠٠	٢	٣	٣

المثال :

نتائج اختبار تخمر مجموعة الأنابيب على عينة من ماء النهر كانت كالآتي :

تسلسل التخفيف	النتائج بعد التلقيح
١٠ سم ٣	٢ موجب
	١ سالب
١ سم ٣	١ موجب
	٢ سالب
١, ١ سم ٣	صفر موجب
	٣ سالب

عين العد الأكثر احتمالاً من تلك البيانات :

الحل :

بالدخول في الجدول (٤ /)، عين مكان الصف بـ ٢، ١ وصفر في الأعمدة الثلاثة الأولى، بالتتالي. هذه الأرقام تمثل عدد الأنابيب الموجبة في كل سلسلة تخفيف. تحت العامود بعنوان (مؤشر العد الأكثر احتمالاً) أقرأ العد الأكثر احتمالاً لـ ١٥ كوليفورم في كل ١٠٠ سم^٣. العامودين الآخرين من الجدول يبينان الطبيعة الاستاتيكية للعد الأكثر احتمالاً. احتمال ٩٥% أن التركيز الحقيقي للكوليفورم هو لا يقل عن ٣، ولكن لا يزيد عن ٤٤ لكل ١٠٠ سم^٣.

٥- أخذ عينات الماء : (water Sampling)

الطرق الصحيحة لأخذ العينات هي جزء هام من أى أبحاث حقلية لتقييم نوعية الماء (أو مياه الصرف) ولمراجعة التطابق مع معايير نوعية المياه. العينة التي لا يتم جمعها أو حفظها أو التعرف عليها بطريقة صحيحة سيترتب عليها نتائج غير حقيقية وغير مفيدة، وذلك رغم دقة الأداء لمعمل التحاليل. نظراً لأن نتائج اختبارات نوعية المياه هو الأساس في القرارات ذات التأثير على الصحة العامة، لذلك فإنه يلزم اتباع طريقة جيدة لأخذ العينات. توجد طريقتان أساسيتان لأخذ العينات وهما الطريقة المخطوفة والطريقة المركبة.

الطريقة المخطوفة لأخذ العينات : (Grab Samples)

الطريقة المخطوفة لأخذ العينات هي عينة واحدة يتم أخذها في زمن قصير جداً، وأن كانت تستغرق حتى ١٥ دقيقة لملء وعاء أخذ العينة إلا أنها مازالت تعتبر عينة مخطوفة. من المهم ملاحظة أن نتائج الاختبارات من العينة المخطوفة تمثل فقط حالات المياه أو مياه الصرف في زمن معين ومكان معين لأخذ العينة. العينات المخطوفة تكون مناسبة جداً عند عمل الاختبار للكلور المتبقى، الرقم الهيدروجيني، الكوليفورم والأكسجين المذاب. وهي يتم جمعها عادة بالطريقة اليدوية. لأخذ العينات المخطوفة من المجرى أو من مياه الصرف، توجد تجهيزات لسهولة الاقتراب من قناة التدفق من القوارب وقنوات التصريف والأرصفة. كما تتوفر أجهزة سحب المياه التي توفر جمع العينة على أعماق محددة أسفل السطح بدون الخلط مع الهواء. وهذا يعتبر هاماً وخاصة عند أخذ عينات الأكسجين المذاب.

العينات المركبة : (Composite Samples)

فى كثير من الحالات تكون العينة المخطوفة وحدها لا تكفى لتوصيف نوعية المياه أو مياه الصرف بطريقة صحيحة، وهذا بالتحديد فى حالات نظم جمع ومعالجة مياه الصرف حيث تتغير كمية ونوعية المياه من ساعة لأخرى. العينات المركبة تكون مناسبة عندما يكون من الضروري تعيين متوسط أو إجمالى الظروف خلال فترة زمنية معينة.

العينات المركبة يتم الحصول عليها بخلط عينات مخطوفة مأخوذة على فترات منتظمة خلال الفترة الزمنية لأخذ العينات. فمثلاً، العينة المركبة يمكن أن تتكون من خليط من عينات أصغر مأخوذة كل ٢٠ دقيقة خلال فترة زمنية قدرها ٨ ساعات.

فى دراسات مياه الصرف تؤخذ أحجام العينات المخطوفة الصغيرة لعمل العينة المركبة بنسبة معدل التدفق، للحصول على نتائج واقعية. فمثلاً، عند أخذ عينة مخطوفة بحجم ١٠٠ سم^٣ عند معدل تدفق ٥ لتر/ الثانية، فإن أخذ عينة مخطوفة ٢٠٠ سم^٣/ث سيكون عند زيادة معدل التدفق إلى ١٠ لتر/ث. عادة تستخدم أجهزة أخذ العينات الآلية لأخذ العينات المركبة. تكلفة هذا الجهاز يتم تعويضها بالوفر فى العمالة لجمع العينات والخلط. جهاز أخذ العينات الآلى المثبت فى مطبق موضح فى الشكل (٢/٢٢).

متطلبات عامة :

تختلف طرق أخذ العينات وحفظها طبقاً لمعايير نوعية المياه والتحليل المطلوب عملها. طريقة أخذ العينات المركبة عددها والفترات الزمنية بينها وأماكنها موضح فى إصدار التحليل للمياه الأمريكى. الآتى موجز للاعتبارات الأربعة العامة التى يجب مراعاتها لأى نوع من العينات :

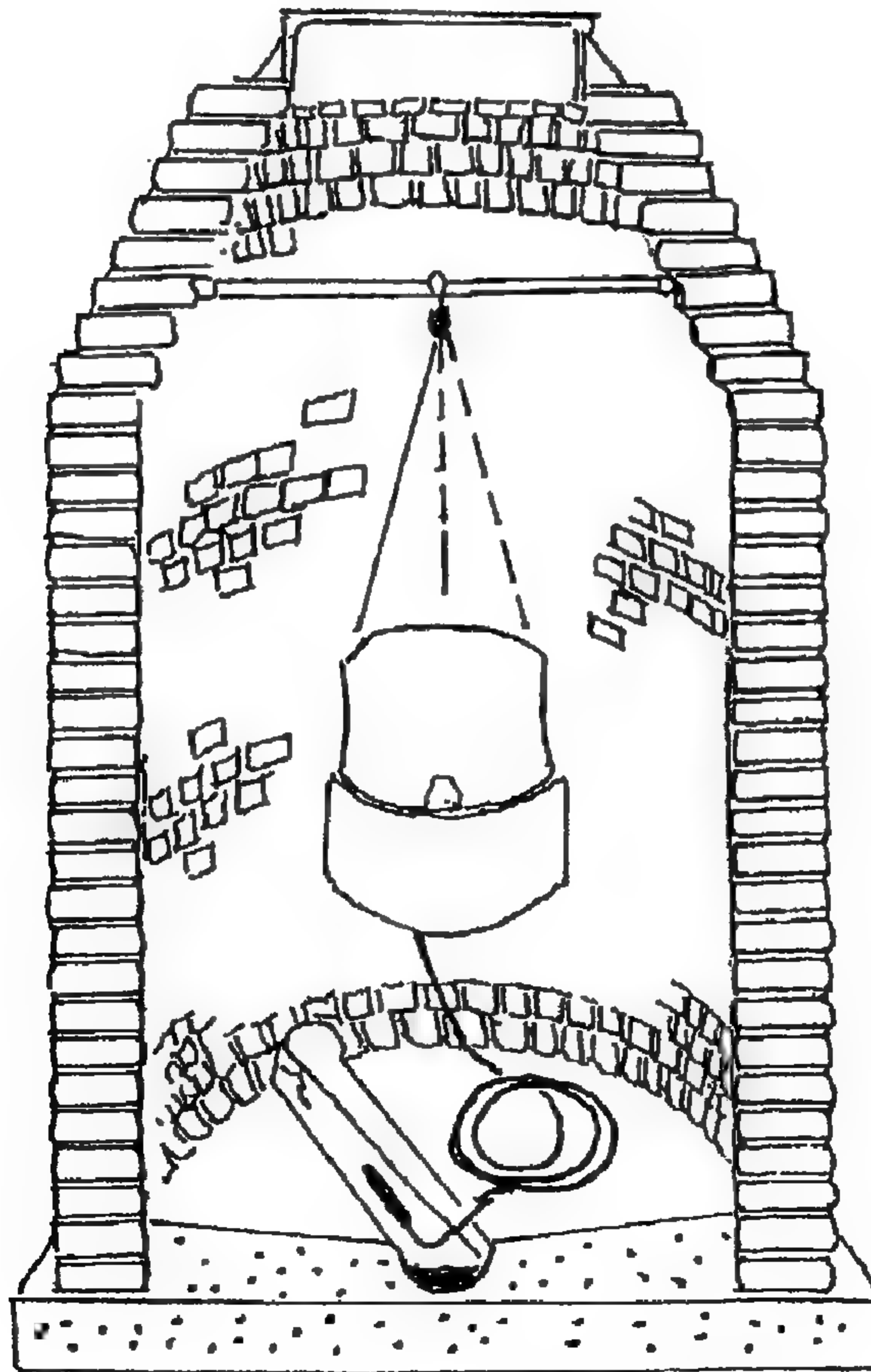
١- يجب أن تكون العينة ممثلة لواقع الحالات الموجودة. فمثلاً، جمع عينة المياه من صنبور قبل فتحه وترك المياه الراكدة تتدفق للحظات سوف لا يعطى نتائج ممثلة للواقع فى شبكة المياه، ولكن فقط للماء الذى كان راکداً فى الخط لمدة زمنية غير معروفة.

٢- الفترة الزمنية بين الجمع والحفظ يجب أن تكون قصيرة ما أمكن لمعظم النتائج التى يعتمد عليها. اختبارات معينة، مثل الكلور المتبقى أو اختبارات درجة الحرارة يجب تعيينها فى الحال. الأكسجين المذاب هو معيار آخر الذى يحتاج إلى التحليل الفورى، رغم أنه من الممكن إضافة كيماويات التى تثبت تركيز الأكسجين المذاب لحين التحليل فى المعمل.

٣- يجب تطبيق تقنيات الحفظ المناسبة لتبطين التغيرات الكيماوية والبيولوجية التي يمكن أن تحدث في الفترة الزمنية ما بين جمع العينة وتحليلها. وهذا عادة يتطلب التبريد للعينة أو التثبيت الكيماوي (كما في حالة الأكسجين المذاب).

٤- يجب المحافظة على دقة وإتقان تسجيلات أخذ العينات لتجنب أي التباس مثل "ماذا، متى، أين" للعينة، وكذلك تنفيذًا لتعليمات تداول وحفظ العينات.

يتم وضع الملصق على زجاجة أخذ العينات لتسهيل التسجيل المتقن لبيانات العينة والتي تشمل (نوع التحليل المطلوب - مكان أخذ العينة - توقيت أخذ العينة - القائم بأخذ العينة - نوع العينة سواء كانت روتينية أو أولية أو للمراجعة أو لأغراض خاصة) اسم نظام المياه الذي أخذت منه العينة والعنوان، وكذلك يتم على نفس الملصق تسجيل نتائج التحليل للعينة وبيانات عن العمل وكذلك التوصيات بخصوص نتائج التحليل.



شكل (٢/٢٢) جهاز أخذ العينات المركبة يمكن تركه في غرفة التفريغ،

ليوفر عينة تمثل متوسط حالات التدفق

الفصل الثالث

تنقية المياه للشرب

المياه التي يتم سحبها مباشرة من المصادر السطحية العذبة مثل الأنهار والبحيرات نادراً ما تكون نقية لتناسب الاستهلاك الآدمي وذلك في حالة عدم معالجتها وتنقيتها. حتى أن المياه التي يتم ضخها من الخزانات الجوفية عادة تتطلب بعض المعالجة لتصبح صالحة للشرب. طبيعة ودرجة المعالجة المطلوبة لإعداد المياه للشرب سواء من المصادر السطحية العذبة أو من المصادر الجوفية تتوقف على نوعية المياه الخام. المياه ذات النوعية الجيدة تتطلب معالجة أقل. عموماً مصدر المياه الخام حيث المحتوى من الكوليفورم حتى $100/50000$ سم³ وعكارة حتى 10 وحدات تعتبر جيدة عموماً. المياه ذات المحتوى من الكوليفورم الذي يزيد عن $100/20000$ سم³ والعكارة أكثر من 250 وحدة يعتبر مصدراً غير جيد ويحتاج إلى معالجة مكلفة لإعداد المياه للشرب.

الهدف الأول من تنقية المياه هو إزالة الكائنات الحية الدقيقة والكيماويات الضارة، بما يحد من انتشار الأمراض وحماية الصحة العامة بالإضافة إلى أهمية أن تكون المياه آمنة للشرب. إلا أن المياه يجب كذلك أن تكون مقبولة ومستساغة. حيث أن المياه يجب أن تكون رائحة بلورياً وأن تكون خالية من أي رائحة أو مذاق أو لون غير مستساغ.

عمليات المعالجة التقليدية التي تستخدم لإعداد المياه للشرب سيتم مناقشتها في هذا الفصل. المياه الجوفية قد تتطلب بعض أنواع المعالجة. فهي عموماً خالية من البكتيريا والمواد الصلبة العالقة والمواد الغروية العالقة ذلك بسبب الترشيح الطبيعي الذي يحدث أثناء تسرب المياه خلال التربة. ولكن نظراً لأن المياه الجوفية تكون في اتصال مباشرة مع مواد التربة أو الصخور، فإنها عادة تحتوي على مواد معدنية مذابة مثل الكالسيوم والحديد.

أدنى مستوى لمعالجة المياه الجوفية هو التطهير بالكلور للتأكد من خلو المياه من البكتيريا الضارة. في حالة وجود أملاح معدنية مذابة بكميات كبيرة فإنه يلزم إجراء بعض العمليات مثل المعالجة الكيماوية، التهوية، الترشيح وعمليات أخرى قد تكون مطلوبة لتنقية المياه ولتكون آمنة ومستساغة للشرب. بعض إمدادات المياه الجوفية وجد أنها ملوثة بتركيزات قليلة من الكيماويات العضوية السامة والتي عادة ما تكون نتيجة الصرف العشوائي للمخلفات الخطرة. إذا كانت عمليات التنقية بالتهوية، الكربون المنشط أو

معظم المعايير الأولية موصفة كأقصى مستوى للتلوث (Maximum Contamination Levels) (MCL'S) وهذه توصف تقنيات معالجة مطلوبة لتلك الملوثات. كذلك أصدرت وكالة حماية البيئة أقصى مستويات للتلوث، وهو المستوى من التلوث الغير متوقع إحداثه لآثار صحية ضارة وهو معيار غير إجباري، وعموماً يتم تنقيحه من أن إلى آخر ليتطابق مع أقصى مستوى للتلوث بما تسمح به التكنولوجيا المتاحة والاعتبارات الاقتصادية. أقصى مستويات للتلوث تم تقديرها لتكون صفر بالنسبة للكيمياويات المسرطنة ذلك لأن هذه غير معروف مستويات أمنة لها.

أقصى مستوى للتلوث الأولي : (Primary MCL'S)

أقصى مستوى للتلوث بالمواد الضارة أو السامة يعكس المستويات التي يمكن استهلاكها بأمان من الماء، مع الأخذ في الاعتبار التعرض للمواد من مصادر أخرى. وهذا مبني على استهلاك ٢ لتر من الماء أو من السوائل ذات الأساس المائي كل يوم. الملوثات الأولية تشمل الكيماويات العضوية، الكيماويات الغير عضوية، الكائنات الحية الدقيقة، العكارة، المواد المشعة. باستثناء بعض الكائنات الحية الدقيقة، فإن الماء الذي تزيد فيه مستويات أقصى مستوى للتلوث لا يسبب تهديداً مباشراً للصحة العامة. ولكن يجب مراعاة التحكم في مستوى هذه المواد ذلك لأن مياه الشرب التي تزيد عن المعايير الموصفة مع مرور الوقت يمكن أن تصبح ضارة.

الكيماويات العضوية : (Organic Chemicals)

كثير من المواد العضوية المخلفة ضمن التلوث الأولي. بعض منها مثل البنزين (C_6H_6) ورابع كلوريد الكربون تعلق سريعاً بالهواء وتعرف أنها المركبات العضوية المتطايرة (VOC'S) (Volatile Organic Compounds). الجدول (٣/١) يوضح بيان لأقصى مستويات مسموح بها لعدد من الملوثات العضوية. في إمدادات المياه يجب أخذ عينات منها وتحليلها بالنسبة للكيماويات العضوية كل ثلاث سنوات على الأقل.

جدول (٣/١) أقصى مستوى للملوثات الأولية من الكيماويات العضوية:

المصادر التقليدية	أقصى مستوى تلوث ملجرام/لتر	الأثر الصحي للملوثات	الملوثات
المبيدات الحشرية	٠,٠٠٣	تأثيرات على الجهاز العصبي	Aldicarb
كيماويات، بويات، مبيدات	٠,٠٠٥	احتمال مسرطن	Benzene
كيماويات التنظيف، المخلفات الصناعية.	٠,٠٠٥	احتمال مسرطن	رابع كلوريد الكربون
المبيدات الحشرية	٠,٠٠٢	احتمال مسرطن	Chlordane
المبيدات	٠,٠٠٢	تأثيرات على الجهاز العصبي، الكبد، الكلى	Endrin
المبيدات.	٠,٠٠٤	احتمال مسرطن	Heptachlor
المبيدات	٠,٠٠٠٢	الجهاز العصبي، الكبد، الكلى	Lindane
مواد حفظ الأخشاب	٠,٠٠١	احتمال مسرطن، تأثير على الكبد والكلى	بنتاكلوروفينول
البلاستيك، المطاط، الصناعات الدوائية	٠,١	تأثيرات على الكبد والجهاز العصبي	Styrene
المذيبات الصناعية، إضافات الجازولين، الصناعات الكيماوية	١	الكلى، الجهاز العصبي، الكبد	تولوين
الكلوروفورم، نواتج الكلورة لمياه الشرب	٠,١	احتمال مسرطن	الترايهالومينات
مخلفات مواد التنظيف الجاف، صناعة المبيدات، البويات، مزيلات الشحوم من سطح المعدن	٠,٠٠٥	احتمال مسرطن	تراي كلورو إيثيلين
يمكن أن ينتج من غسل مواسير PVC	٠,٠٠٢	احتمال مسرطن	فينيل كلورايد
نواتج تنقية الجازولين، البويات، المنظفات، الأحبار	١٠	تأثيرات على الجهاز العصبي، الكبد، الكلى	إكزايلين

يلاحظ من الجدول (٣/١) أن الملوثات بكميات صغيرة جداً يمكن أن يكون لها تأثير كبير على الصحة. تم تقدير المستويات بالمليجرام/لتر حيث ١ ملجرام/لتر يساوي واحد جزء في المليون. أقصى تركيز للمبيدات كمثال (Lindane) هو ٠,٠٠٠٢ ملجرام/لتر، يمكن التعبير عن هذه القيمة بـ ٠,٢ ميكروجرام/لتر وهذه تكافئ ٠,٢ جزء في المليار.

الكيمائيات الغير عضوية :

العديد من المواد الغير عضوية (التي لا تحتوى على الكربون)، خاصة المعادن الثقيلة، موضحة في الجدول (٣/٢). المياه المعالجة يتم أخذ عينات منها واختبارها بالنسبة للمواد الغير عضوية مرة واحدة كل عام على الأقل. أقصى مستوى للرصاص هو صفر، حيث تم عدم استخدام مواسير الرصاص وكذلك أوقف استخدام الرصاص كمادة خفض لدرجة حرارة معدن اللحام (FLUX).

الزرنبيخ كمادة سامة معروفة جيداً يمكن أن يلوث إمدادات المياه للشرب في حالة التصاق هذه المياه الخام بصخور أو مواد معدنية معينة، كذلك يمكن أن يصل الزرنبيخ إلى مصادر المياه من الأنشطة الصناعية وأنشطة استخراج المعادن. فقد وجد أن الزرنبيخ يوجد بمستويات أعلى في المياه الجوفية عنه في المياه السطحية مثل الأنهار والبحيرات. ولقد نصت وكالة حماية البيئة على أن أقصى تركيز للزرنبيخ في مياه الشرب هو ٠,٠١ ملجرام/لتر (١٠ جزء في المليار) وهذا يعادل ملعقة شاي من الزرنبيخ لكل ٥ مليون لتر (من الماء).

مستويات النترات أكثر من ١٠ ملجرام/لتر تسبب تهديداً لصحة الأطفال في المرحلة العمرية أقل من عام واحد. زيادة تركيز النترات يمكن أن يتفاعل مع الهيموجلوبين في الدم لإحداث حالة أنيميا المعروفة بالطفل الأزرق (Blue Baby). النترات يمكن أن تصل إلى إمدادات المياه طبيعياً من التربة والمخلفات المعدنية وكذلك من الأسمدة وتلوث الصرف الصحي. والمصادر والآثار الصحية للملوثات الأخرى لمياه الشرب تم تلخيصه في الجدول (٣/٢).

قانون الرصاص والنحاس : Lead and Copper Rule

تم وضع تقنيات المعالجة للرصاص والنحاس ذلك لأن وجود هذه الكيمائيات في مياه الشرب يكون عادة نتيجة التآكل لمواد السباكة. كل النظم التي لا تتطابق مع المستويات

الفصل الثالث

المطلوبة عند الصنبور مطالبة بتحسين تقنيات معالجة التآكل لخفض مستوى هذه الملوثات. المستوى للرصاص هو ٠,٠١٥ ملجرام/ لتر والنحاس ١,٣ ملجرام/لتر.

جدول (٦/٢) أقصى تركيز للكيمياويات الغير عضوية في مياه الشرب

المصدر	أقصى ملجرام/لتر	الأثر الصحي	الملوثات
جيولوجيا التربة، المبيدات، المخلفات الصناعية، عمليات صهر المعادن.	٠,٠٥	الجهاز العصبي	الزرنخ
رواسب التعدين، المواسير.	٧ مليون شعيرة في اللتر	احتمال مسرطن	الاسبستوس
تشطيب المعادن، رواسب التعدين	٠,٠٠٥	تأثير على الكلى	الباريوم
تشطيبات المعادن، رواسب التعدين، صناعة المنسوجات والجلود	٠,١	الكبد، الكلى، الجهاز الهضمي	الكروم
تآكل مهمات السباكة، مواد حفظ الأخشاب.		تأثيرات على الجهاز الهضمي	النحاس
الطلاء الكهربى، صناعة الألومنيوم، الصلب، البلاستيك، الأسمدة.	٠,٢	تأثيرات على الجهاز العصبي	السيانيد
صناعة الألومنيوم، إضافات لمياه الشرب، رواسب معدنية.	٤	تأثير على الأسنان	الفلوريد
تآكل الرصاص.	٠,٠٠٢	الجهاز العصبي، تأثير على الكلى، سام للأطفال	الرصاص
التصنيع، مبيدات الفطريات، الرواسب المعدنية.	٠,٠٠٢	الكلى، الجهاز العصبي	الزئبق
الطلاء الكهربى، البطاريات.	٠,١	الكلى، الجهاز العصبي	النيكل
الأسمدة، الصرف الصحي	١٠	تأثير الطفل الأزرق	النترات
رواسب معدنية، الصهر، استخراج المعادن.	٠,٠٥	تأثيرات على الكبد	السيالينيوم

الكائنات الحية الدقيقة :

هذه المجموعة من الملوثات تشمل البكتيريا، الفيروسات، البروتوزوا. تستخدم مجموعة الكوليفورم الكلى للبكتيريا تستخدم لإظهار احتمال وجود كائنات دقيقة ممرضة. عند اختبار الكوليفورم يتوقف عدد العينات المطلوبة شهريا على عدد السكان المخدمين وطاقة نظام التوزيع. حاليا تنص المعايير القياسية على أنه يجب عدم وجود الكوليفورم في أكثر من ٥% من العينات التي يتم اختبارها خلال فترة زمنية مدتها شهر واحد وهذا معروف حاليا بمفهوم (Presence, Absence)، وهو البديل عن أقصى مستويات للتركيز المبني على عدد الكوليفورم التي تم اكتشافها في العينة. كل العينات ذات الكوليفورم الموجب يجب اختبارها ثانياً بالنسبة للكوليفورم الغائطي (Fecal Coliforms) أو (E. coli)، حيث وجود هذا الكوليفورم الغائطي هو شهادة قوية للتلوث الحديث بمياه الصرف الصحي كما يبين وجود خطورة عاجلة على الصحة العامة.

الليجيونيلا (Legionella) التي تسبب مرض الجهاز التنفسي، الفيروسات الغائطية وحوصلات الجارديا (حوصلات البروتوزوا) التي تسبب أمراض معوية، هذه موصفة حيث تتطلب معالجة خاصة. قانون معالجة المياه السطحية ينص على أن يتم ترشيحها وتطهيرها لقتل كل الكائنات الصغيرة المسببة للأمراض.

لقد نصت المعايير على خفض تركيزات الفيروسات وحوصلات الجارديا إلى ٩٩,٩% وذلك بدلا من وضع معايير لأقصى مستوى للتركيز مسموح به في مصادر المياه. لذلك فإن أقصى مستوى مسموح به لتركيز هذه الكائنات الصغيرة في مصادر المياه هو صفر ذلك لأن ابتلاع ولو عدد قليل جداً من هذه الكائنات الصغيرة يمكن أن يسبب المرض.

العكارة :

العكارة لها تأثير يزيد عن مجرد مظهر المياه، حيث يمكن أن تشكل خطورة في مياه الشرب ولذلك فإنه يتم التخلص من العكارة باعتبارها من الملوثات الأولية. العكارة تعيق عملية التطهير بالكلور حيث تحتضن الكائنات الحية الدقيقة وتحميها من تأثير مواد التطهير. أقصى مستوى تركيز للعكارة يعتمد على نوع المعالجة المستخدمة لتنقية المياه. يجب رصد نظم الترشيح التقليدية والمباشرة كل ٤ ساعات على الأقل والحصول على مستويات عكارة أقل من ٠,٥ وحدة عكارة (0.5 NTU).

المواد المشعة : (Radio nuclides)

يمكن حدوث التلوث للمياه بمواد من المخلفات المشعة أو الإنشاءات النووية أو من المواد الطبيعية المشعة. الغاز المشع (Radon 222) مثلاً، يوجد في أنواع معينة من الصخور حيث يمكن أن يصل إلى المياه الجوفية. يمكن تعرض الإنسان للرادون عند تسرب المياه الملوثة به، أو الاستحمام بالمياه الملوثة أو استخدامها لغسيل الأطباق. (المصدر الرئيسي للتعرض للرادون في المنزل هو الرادون المتسرب من التربة إلى الهواء السفلى). اختبارات النشاط المشع الذي يمكن أن يسبب السرطان يلزم عملها كل ٤ سنوات على الأقل. أقصى تركيز للرادون في الماء هو ٣٠٠ بيكوري في اللتر (300 PCI/L). وأقصى تركيز للراديوم (Radium) هو ٢٠ بيكوري/لتر. توجد حدود كذلك لانبعاثات جسيمات بيتا، الفوتونز (Photones)، جسيمات ألفا.

أقصى مستوى لتركيز الملوثات الثانوية : Secondary MCL'S

يوجد مجال لتركيزات المواد ذات التأثير على قابلية واستساغة مياه الشرب فقط (مثل، المذاق، الرائحة، واللون) ولكن ليس لها تأثير مباشر على الصحة العامة. مستويات التركيز الثانوية موضحة في الجدول (٣/٣). هذه المستويات هي عبارة عن خطوط إرشادية أو مقترحات مرتبطة بالقابلية العامة للمياه للمستهلكين. يمكن لوزارة الصحة وضع معايير إجبارية بالنسبة لمستويات هذه المواد.

الموضح في الجدول (٣ /) هو تحديث لبيانات مستوى التركيزات الثانوية التي أصدرتها وكالة حماية البيئة (EPA) (Environmental Protection Agency).

جدول (٣/٣) المواصفات الثانوية لمياه الشرب

الملوثات أو التأثير الضار	المستوى المقترح	تأثير الملوث
ألومنيوم	٠,٥ - ٠,٢ ملجرام/لتر	تغير لون المياه
الكلوريد	٢٥٠ ملجرام/لتر	مذاق مالح، تآكل المواسير
اللون	١٥ وحدة لون	لون خفيف مرئي
النحاس	١ ملجرام/لتر	مذاق معدني، لطع زرقاء على البورسيلين
العدوانية (Corrosivity)	غير عدوانية	مذاق معدني، تآكل المواسير

المياه العدوانية يمكن أن تذيب مواد المواسير في مياه الشرب		
تلوين الأسنان باللون البنى	٢ ملجرام/لتر	الفلوريد
مذاق مر، رائحة، رغاوى منفرة	٠,٥ ملجرام/لتر	مسببات الرغاوى
مذاق معدنى مر، لون الصدا، لطع على الملابس، رواسب	٠,٣ ملجرام/لتر	حديد
مذاق، لطع على الغسيل، لون بنى غامق، لطع سوداء	٠,٠٥ ملجرام/لتر	منجنيز
بيض فاسد، رائحة كيماوية	رقم رائحة (٣)	الرائحة
الرقم الهيدروجينى المنخفض يعطى مذاق معدنى، يحدث تآكل الرقم الهيدروجينى المرتفع: يعطى مذاق السوداء، رواسب، إحساس بوجود مادة لازقة	٨,٥ - ٦,٥	الرقم الهيدروجينى (pH)
تغير لون الجلد، العين الرمادية	٠,١ ملجرام/لتر	الفضة
مذاق ملحي، تأثير الإسهال، المذاق واحتمال العلاقة بين العسر المنخفض وأمراض القلب وكذلك دليل للعدوانية	٢٥٠ ملجرام/لتر	الكبريتات
مذاق معدنى	٥ ملجرام/لتر	الزنك

طرق أخذ العينات : (Sampling Procedures)

معدلات أخذ العينات تختلف بالنسبة لكل مجموعة من الملوثات وكذلك لكل ملوث فى داخل كل مجموعة. وهى تعتمد كذلك على عدد السكان الذين يتم خدمتهم وكذلك ما إذا كان الماء المستخدم من المصادر السطحية أو من المصادر الجوفية. معدلات أخذ العينات

قد تتراوح ما بين مرة كل أربع ساعات بالنسبة للعكارة إلى مرة كل تسع سنوات بالنسبة للأسبستوس. اكتشاف أن نسبة الملوث قد تعدت مستوى معين يمكن أن يزيد من معدلات أخذ العينات حتى في حالة عدم زيادة أقصى مستوى للتلوث.

معظم العينات يجب جمعها عند أماكن ممثلة لنوعية المياه خلال نظام التوزيع. عموماً عينات مياه الشرب تكون تامة الدفق (Fully Flushed) وهذا يعنى أن الماء قد تدفق فسي الخط الرئيسى لمدة زمنية طويلة كافية لتمثيل المياه في الخط الرئيسى وليس في السبابة المنزلية. الاستثناء لذلك هو لرصد النحاس والرصاص حيث يكون المطلوب عينة السحب الأول عند صنبور المستهلك حيث احتمال حدوث التلوث يكون كبيراً.

بعض العينات يجب جمعها في أوعية زجاجية والبعض الآخر في أوعية من البلاستيك. أحجام العينات تختلف طبقاً لنوع الملوث حيث تتراوح ما بين ١٠٠ سم^٣ بالنسبة لعينة الكوليفورم إلى واحد لتر لعينات بعض المواد المشعة، والبعض الآخر يمكن توصيله إلى المعمل عند درجة الحرارة العادية. زجاجات العينات للكيمائيات العضوية المتطايرة (VOC'S) يجب أن تملأ عن آخرها بدون ترك فراغ للهواء. أقصى فترة زمنية مسموح بها ما بين جمع العينة والتحليل في المعمل يمكن أن تتراوح ما بين يوم واحد للكوليفورم إلى عام واحد للعينة المشعة.

التسجيل والتقدير : (Record Keeping and Reporting)

التسجيل الجيد يعتبر هاماً لحسن أداء نظام المياه. فهو يوفر البيانات عن الخطط المستقبلية، معلومات المواطن، قوانين الحماية. لذلك فإن تسجيل نوعية المياه ونتائج الاختبارات والإجراءات التي تم اتخاذها للتصحيح، حيث يجب الاحتفاظ بهذه التقارير في دوسيه لمدة زمنية تصل إلى ١٢ عام.

تسجيل البيانات عن نتائج تحاليل أقصى تركيز للملوثات بالنسبة للبكتريا والكيمائيات يعتبر ذو أهمية خاصة. التسجيل يجب أن يشمل اسم، تاريخ، ومكان أخذ العينة، واسم من قام بأخذ العينة، نوع العينة، والمكان، والطريقة، التاريخ ونتائج التحاليل.

٢- الترسيب : Sedimentation

الملوثات في المياه يمكن أن تكون مذابة أو عالقة. الطريقة السهلة لإزالة المادة العالقة هي لترك المهمة لقوى الجاذبية. في حالات عدم الاضطراب عندما تكون سرعة التدفق والاضطراب عند أدناها، فإن الجسيمات ذات الكثافة الأعلى من كثافة الماء يمكنها أن

ترسب إلى قاع الحوض. هذه الطريقة تسمى الترسيب، وطبقة تراكمت المواد الصلبة عند قاع الحوض تسمى الحمأة (Sludge). والحوض يسمى حوض الترسيب أو المرووق. السرعة التي ترسب بها الأجسام العالقة نحو قاع الحوض تتوقف على حجم الأجسام العالقة وكثافتها. الأجسام الأكبر في الحجم والأثقل في الكثافة سوف ترسب أسرع عن الأجسام الأصغر والأخف. القوى التي تعارض قوة الرسوب إلى أسفل بالجاذبية تشمل الطفو (Buoyancy) والاحتكاك (Friction). درجة حرارة ولزوجة الماء هي عوامل إضافية ذات التأثير على معدل رسوب الأجسام. طبيعة عملية الترسيب تتغير كذلك طبقاً لتركيز المواد العالقة واستعدادها للتفاعل مع بعضها البعض. في حالة المواد العالقة المخففة (Dilute Suspension)، حيث الجسيمات تكون حرة لترسب بدون أي تداخلات، فإن العملية تسمى الترسيب الحر أو (Discrete Settling). مع زيادة التركيز، تميل الجسيمات للالتصاق والتداخل في حرية الحركة وهذه تسمى أحياناً الترسيب بالإعاقة (Hindering Settling). في حوض الترسيب يوجد حتى أربع مناطق للترسيب والتي تحدث عند أعماق مختلفة، وهي منطقة الدخول ومنطقة الخروج ومنطقة الترسيب ومنطقة تجميع المواد المرسبة (الحمأة).

زمن المكث : (Detention Time)

في حالة ترك حجم من الماء في حوض بدون أي اضطراب ولعدة أيام أو أسابيع، فإن حوالى كل المواد الصلبة العالقة ستكون لديها الفرصة لترسب نحو القاع. حتى أن بعض البكتيريا ذات الحجم المجهرى سوف ترسب. ولكن هذه الطريقة ليست عملية في محطات معالجة مياه الشرب ذلك لأنها تتداول أحجام ضخمة من المياه على أساس التدفق المستمر. إنه ليس مجدياً قفل المحبس ببساطة لإيقاف التدفق وترك الحجم من الماء بدون اضطراب في الحوض لفترة زمنية طويلة. حيث في هذه الحالة يلزم توفير أعداد كبيرة من الخزانات الضخمة. البديل، فإنه يتم تصميم أحواض الترسيب لمعالجة المياه ومياه الصرف لتعمل مع استمرار التدفق ببطء من مدخل الحوض إلى مخرج الحوض. حركة المياه تكون بطيئة بما يكفي لتسمح بالترسيب الحر بنسبة كبيرة للمواد الصلبة العالقة. عموماً تظل المياه في الحوض لساعات قليلة فقط وذلك قبل وصولها إلى مخرج الحوض. كمية الوقت النظرية التي تمكث فيها المياه في الحوض تسمى زمن المكث (Detention Time) ويمكن حسابها كالتالى :

$$(1) \quad T_D = \frac{V}{Q}$$

حيث :

$$T_D = \text{زمن المكث}$$

$$V = \text{حجم الماء في الحوض}$$

$$Q = \text{متوسط معدل التدفق (الحجم على وحدة الزمن)}$$

زمن المكث عادة يعبر عنه بالساعات. من المهم استخدام وحدات معلومة لكل من V , Q لتكون المعادلة صحيحة الأبعاد.

أدنى زمن مكث هو ثلاث ساعات لتأكيد الترسيب الجيد، حيث تصل معظم المواد الصلبة العالقة إلى قاع الحوض خلال هذه الفترة الزمنية. المثال التالي يوضح استخدام المعادلة.

مثال :

حوض ترسيب سعته ١٥٠٠٠ متر مكعب. إذا كان معدل التدفق لدخول الحوض هو ١٢٠ مليون لتر في اليوم، ما هو زمن المكث؟

الحل :

يتم أولاً تحويل المتر المكعب إلى ملايين اللترات أو العكس، لتوحيد القيم اختيار تحويل الحجم إلى الميجاليتير يعطى

$$\text{الحجم} = ١٥٠٠٠ \text{ متر مكعب} \times ١٠٠٠ \text{ لتر/م}^3 = ١٥ \text{ مليون لتر}$$

$$\frac{V}{Q} = T_D \text{ باستخدام المعادلة}$$

$$T_D \dots = \frac{١٥ \text{ مليون لتر}}{١٢٠ \text{ مليون لتر/اليوم}} = ٠,١٢٥ \text{ يوم}$$

بالتحويل إلى الساعات

$$T_D = ٠,١٢٥ \text{ يوم} \times ٢٤ \text{ ساعة/اليوم} = ٣ \text{ ساعة}$$

مثال ٢:

معدل تدفق المياه ٦ مليون جالون في اليوم ليكون زمن المكث في حوض الترسيب ٣ ساعات. احسب الحجم المطلوب للحوض بالقدم المكعب. إذا كانت المساحة السطحية للحوض هي ١٠٠٠٠ قدم مكعب، ما هو العمق الذي سيكون عليه الماء في الحوض؟

الحل :

حيث أنه من الضروري أن يتم الحل للحجم، أولاً يتم إعادة صياغة المعادلة لتكون $V = Q \times TD$. ثم تحويل معدل التدفق من الوحدات بالمليون جالون في اليوم إلى الجالون في الساعة كالآتي :

$$Q = 6,000,000 \text{ جالون/اليوم} \times 1 \text{ يوم/} 24 \text{ ساعة}$$

$$= 250,000 \text{ جالون/ الساعة،}$$

$$V = Q \times T_D = 250,000 \times 3 \text{ ساعة}$$

$$= 750,000 \text{ جالون}$$

تحويل الجالونات إلى قدم مكعب نحصل على

$$V = 750,000 \text{ جالون} \times 1 \text{ قدم مكعب/} 7.5 \text{ جالون}$$

$$= 100,000 \text{ قدم مكعب}$$

حيث أن حجم الحوض يمكن التعبير عنه كناتج العمق في المساحة السطحية (الحجم = العمق × المساحة)، يمكن حساب عمق الماء بقسمة الحجم على المساحة السطحية أو

$$100,000 \text{ قدم مكعب} \div 10,000 \text{ قدم مربع} = 10 \text{ قدم عمق.}$$

معدل التدفق العلوى أو التحميل السطحي : (Over Flow Rate)

العامل الآخر الهام في تصميم وتشغيل حوض الترسيب هو معدل التدفق العلوى أو التحميل السطحي (Surface Loading).

يتم حسابه كالآتي :

$$(2) \quad \frac{As}{Q} = V_o$$

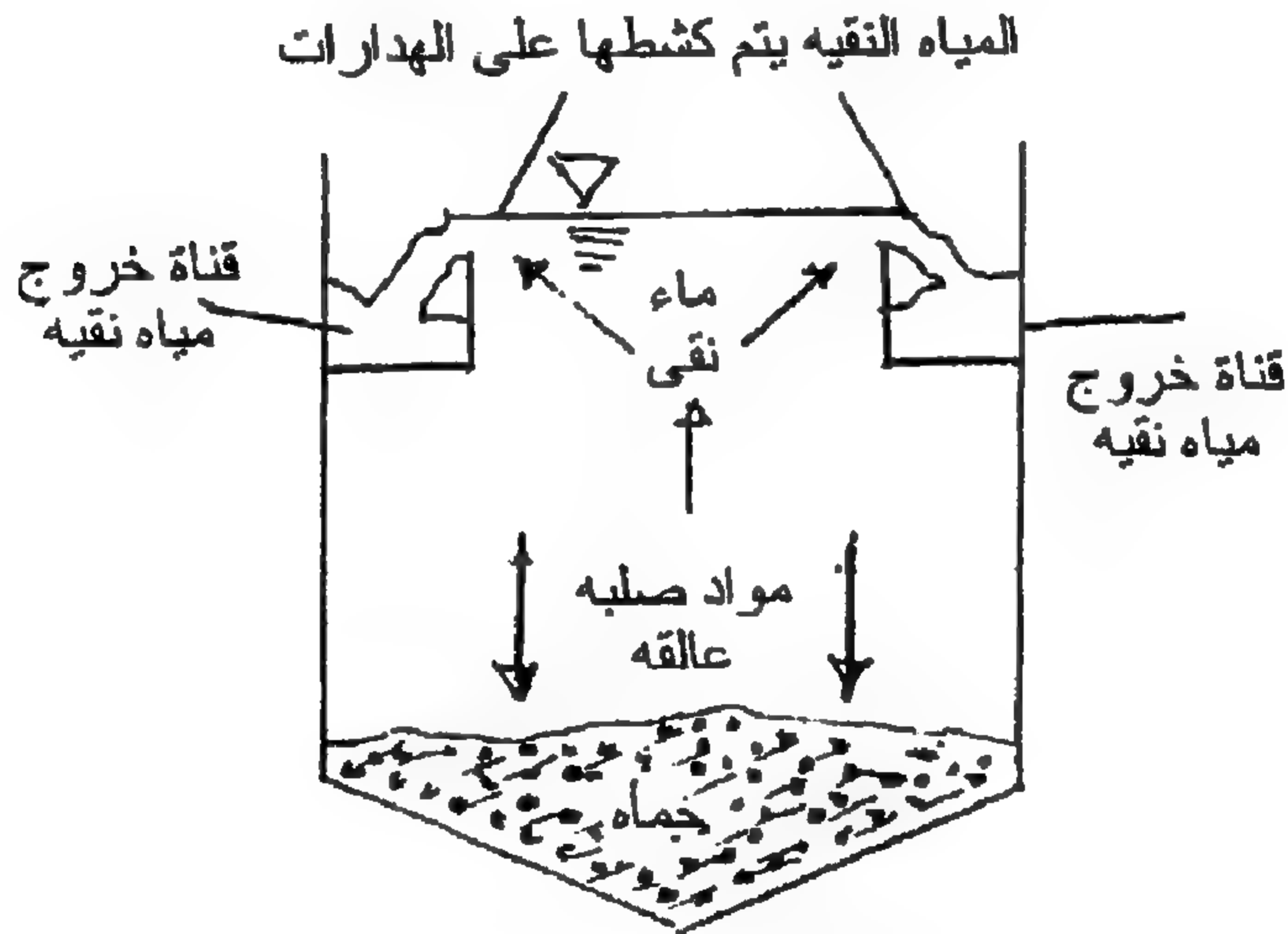
حيث $V_0 =$ التحميل السطحي

$Q =$ متوسط معدل التدفق.

$A_s =$ المساحة السطحية للحوض.

بالنسبة للوحدات المترية يعبر عن التحميل السطحي بالمتر المكعب على المتر المربع في اليوم (م³/م²/اليوم)، معدل التدفق يعبر عنه بالمتر المكعب في اليوم، المساحة السطحية بالمتر المربع. أقصى تحميل سطحي هو ٣٣ متر مكعب/ المتر المربع. في اليوم. أو ٨٠٠ جالون في اليوم/ القدم المربع.

مقطع الحوض الموضح في الشكل (٣/٢) يوضح الإطار العام للتدفق. المياه الراكدة يتم كشطها من السطح مع تدفقها فوق الهدارات إلى قناة تجميع المياه الراكدة. كل الجسيمات العالقة التي ترسب عند سرعة أعلى من V_0 تصل طبقة الحمأة عند قاع الحوض. جزء فقط من الجسيمات الأصغر والأخف التي ترسب عند سرعات أقل من V_0 يتم إزالتها من الماء قبل ترك الماء للحوض.



شكل (٣/٢) مخطط لعملية الترسيب

مثال ٣:

ما هي أدنى سرعة ترسب بالقدم في الساعة، للجسيمات العالقة التي يمكن إزالتها كلية في حوض الترسيب حيث التحميل السطحي هو ٧٠٠ جالون في اليوم/ القدم المربع؟

الحل :

$$700 \text{ جالون} \times \frac{1 \text{ قدم مكعب}}{7,5 \text{ جالون}} \times \frac{1 \text{ يوم}}{24 \text{ ساعة}} = 3,9 \text{ قدم/الساعة}$$

جزء فقط من الجسيمات التي ترسب أبطأ من 3,9 قدم/الساعة تتم إزالتها، كلما كانت سرعة الترسيب بطيئة، كلما قلت نسبة الإزالة. فمثلاً، 20% من الجسيمات التي ترسب عند سرعة 0,2 × 3,9 = 0,78 قدم/ الساعة يتم اقتناصها في طبقة الحماة.

تصميم حوض الترسيب : (Settling Tank Design)

عند جمع القيم الموصفة لكل من زمن المكث والتحميل السطحي فإنه يمكن تعيين الأبعاد المطلوبة لحوض الترسيب. أحواض الترسيب يمكن إما أن تكون مستطيلة أو مستديرة. العمق الحقيقي للماء في الحوض يسمى عمق جانب الماء (Side Water Depth). ارتفاع جدار الحوض يكون عادة ما بين 0,45 متر أو 1,5 قدم أعلى من منسوب سطح الماء (عمق جانب الحوض). وهذا يسمى الاتساع الحر وهو يساعد على عدم طرشة الماء فوق أجناب الحوض. المثال التالي يوضح كيف أنه يمكن تعيين أبعاد حوض الترسيب.

مثال :

حوض ترسيب مستدير أدنى زمن مكثف له يجب ألا يقل عن 4 ساعات وأقصى تحميل سطحي 20 متر مكعب/ المتر المربع. عين القطر المطلوب للحوض وكذلك عمق جانب الماء إذا كان متوسط معدل التدفق خلال الحوض هو 6 مليون لتر/اليوم.

الحل : باستخدام المعادلة $T_D = \frac{V}{Q}$ ، احسب الحجم المطلوب

$$Q \times T_D = V$$

$$6 \text{ مليون لتر/اليوم} \times 1 \text{ يوم/} 24 \text{ ساعة} \times 4 \text{ ساعة} =$$

$$= 1 \text{ مليون لتر} = 1,000,000 \text{ لتر}$$

$$\text{لتحويل الحجم إلى متر مكعب} = 1,000,000 \div 1,000 = 1,000 \text{ متر مكعب}$$

قبل استخدام المعادلة $V_D = \frac{As}{Q}$ يكون من المناسب تحويل معدل التدفق إلى

وحدات متر مكعب في اليوم

$$Q = 6 \text{ مليون لتر في اليوم} = 6000 \text{ م}^3 \text{ في اليوم}$$

لحساب المساحة السطحية

$$As = \frac{Q}{V_0} = \frac{6000 \text{ متر مكعب في اليوم}}{20 \text{ متر مكعب/متر مربع في اليوم}} = 300 \text{ متر مربع}$$

لتعيين قطر الحوض، استخدم معادلة مساحة الدائرة

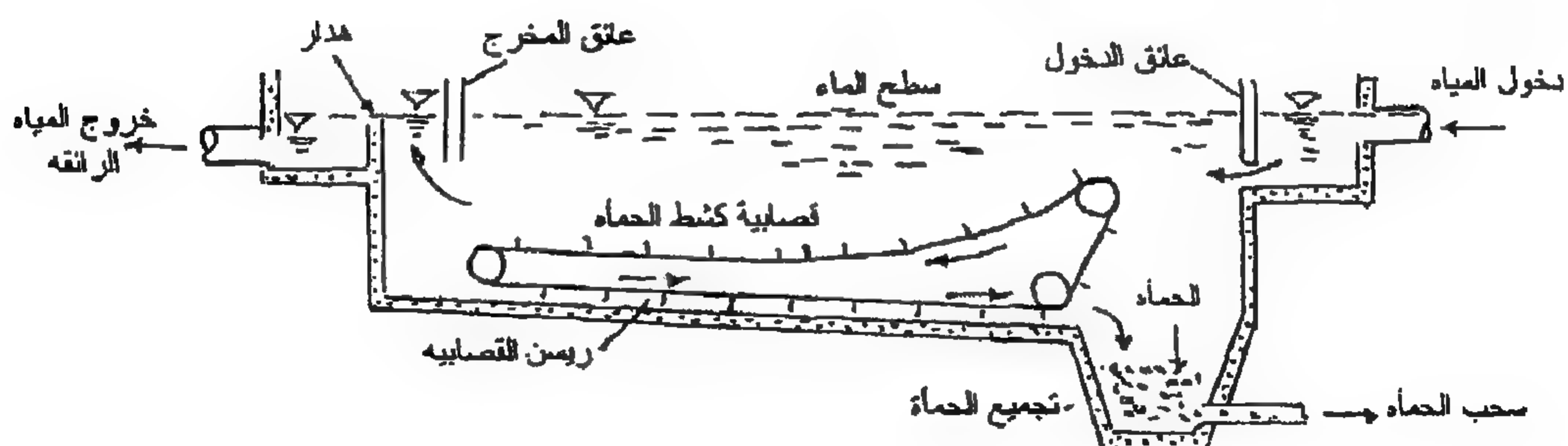
$$A = \pi D^2/4$$

$$D = \sqrt{4A/\pi} = \sqrt{(300 \times 4)/\pi} = 20 \text{ متر}$$

$$V = As \times \text{عمق جانب الماء}$$

$$\text{عمق جانب الماء} = \frac{V}{As} = \frac{6000 \text{ م}^3}{300 \text{ م}^2} = 3.33 \text{ متر}$$

في حوض الترسيب المستطيل فإن المياه الداخلة إلى الحوض (Influent) يتم توجيهها مقابل عائق (Baffle) الذي يوزع الماء بانتظام عبر عرض الحوض ويوفر سرعة سفلية للتدفق. وهذا موضح في الشكل (٣/٣). المياه الخارجة من الحوض (Effluent) يتم كشطها من السطح فوق هدارات (Weirs) موضوعة في الناحية العكسية للحوض. سلسلة من الألواح الخشبية التي تتحرك على سلسلة مستمرة لكشط الحماة ودفعها خلال قادوس التجميع، حيث يتم ضخها خارج الحوض.

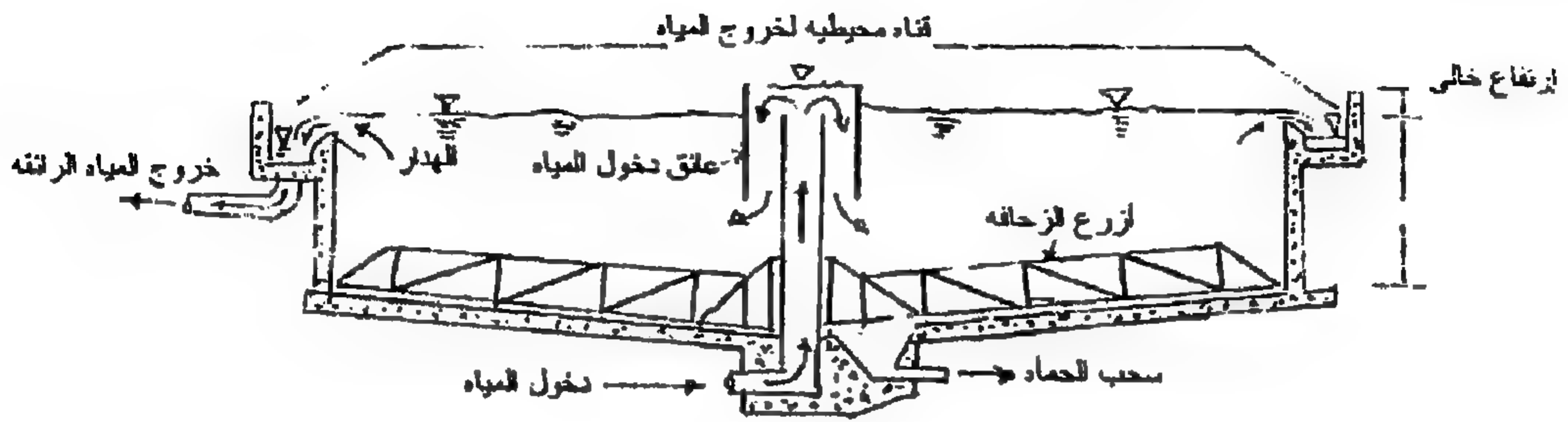


شكل (٣/٣) مقطع مبسط لحوض الترسيب المستطيل.

القصاييه ذات السلاسل بطيئة الحركة تدفع الحماة نحو القادوس لإزالتها.

في المرووق الأسطواناني، عادة تدخل المياه عند المنتصف وتتدفق محيطيا إلى الخارج نحو هدار المخرج المنشأ على طول المحيط الداخلي للحوض. كما توجد زحافة دوارة لتحريك الحماة نحو قادوس التجميع المركزي. وهذا موضح في الشكل (٣/٤).

مهما يكن شكل حوض الترسيب، فإن المداخل والمخارج يجب أن يتم تصميمها بحرص لمنع حدوث التيارات التي يمكن أن تعيد رفع الحماة بعد ترسيبها. يكون كذلك من الضروري تجنب حالة قصر المسافة (Short Circuiting) للتدفق. في هذا المجال فإننا نعني بقصر المسافة الحالة التي يكون فيها معظم الماء يتدفق خلال الحوض في فترة زمنية أقل كثيراً عن زمن المكث الذي تم حسابه. تأثيرات الترسيب يمكن أن تقل كثيراً في حالة حدوث قصر المسافة.



شكل (٣/٤) مقطع مبسط لحوض الترسيب المستدير.

أذرع الزحافة الدوارة تحت الحماة المرسبة إلى قادوس مركزي لسحب الحماة والتخلص منها.

هدارات الخروج في حوض الترسيب يتم تصميمها لتعمل عند ظروف أدنى ضغط وأدنى سرعة، لتقليل الفرصة لأن تحمل الجسيمات إلى أعلى مع المياه الخارجة. الطول الكلي للهدار يجب أن يكون طويلاً بما يحقق معدل تدفق لكل متر أو قدم من الهدار أقل من أقصى قيمة موصفة، والتي تسمى معدل التحميل للهدار (Weir Loading Rate). هذه الهدارات تتكون عادة من عديد من الفتحات على شكل حرف (V) بينها فواصل متساوية في لوح معدني طويل.

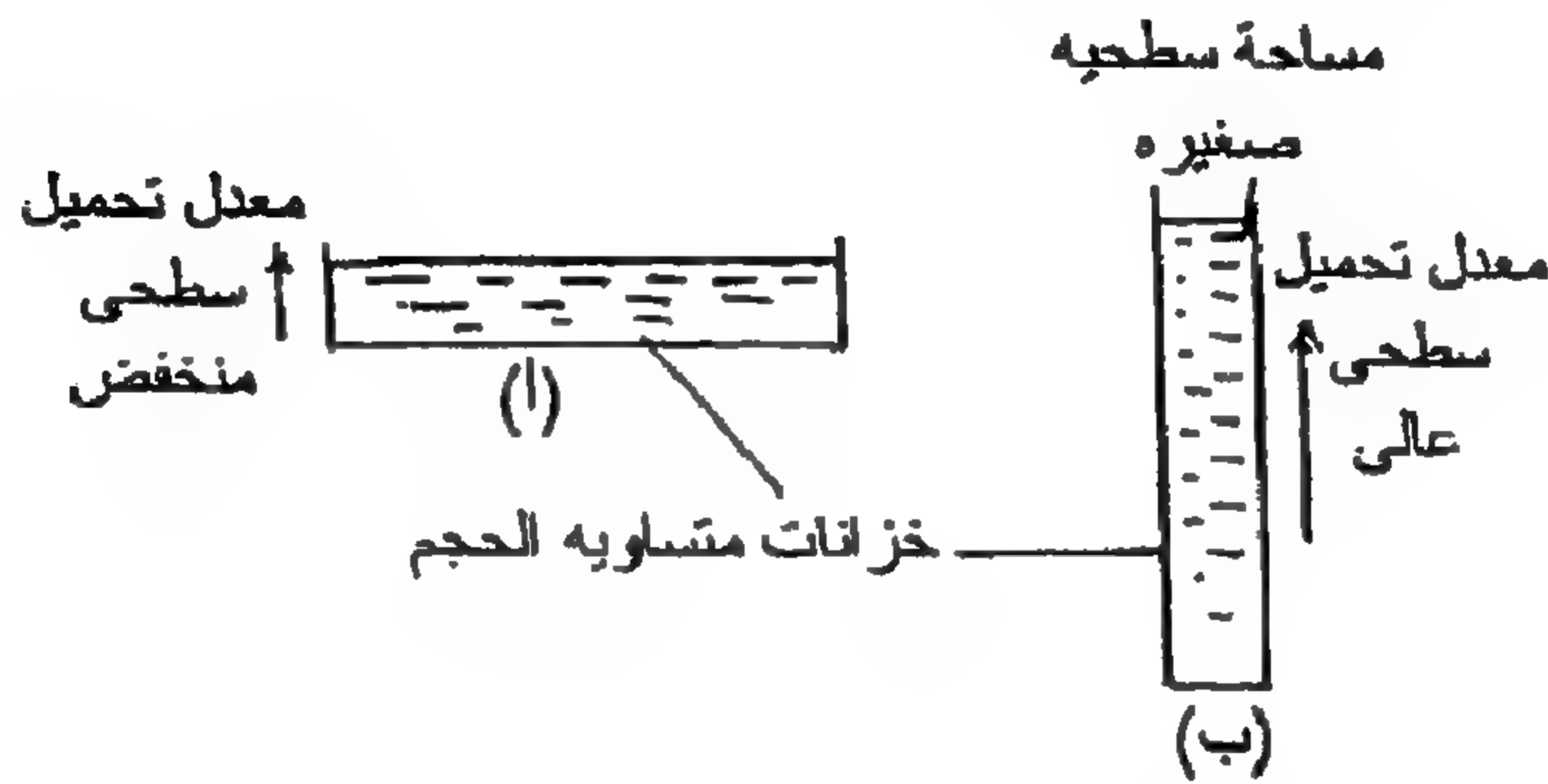
تتدفق المياه الخارجة خلال الفتحات حرف V إلى قناة تسمى (Launder Channel) والتي توجه التدفق إلى ماسورة المخرج.

تتوقف قدرة وتأثير حوض الترسيب في إزالة المواد الصلبة العالقة على المساحة السطحية أكثر منه على الحجم الكلي أو زمن المكثف. يمكن ملاحظة من المعادلة رقم (٢) أنه بالنسبة لمعدل تدفق معين Q ومع زيادة المساحة السطحية (AS) فإن معدل التدفق العلوي V_0 (أو التحميل السطحي) ينخفض. لذلك، فإن أقصى سرعة ترسيب للجسم العالق للإزالة الكاملة تنخفض كذلك مع زيادة المساحة السطحية. لهذا، فإن الحوض الضحل الذي له مساحة سطحية كبيرة سوف يكون أكثر تأثيراً عن الحوض العميق بنفس الحجم، ولكن المساحة أقل. وهذا موضح في الشكل

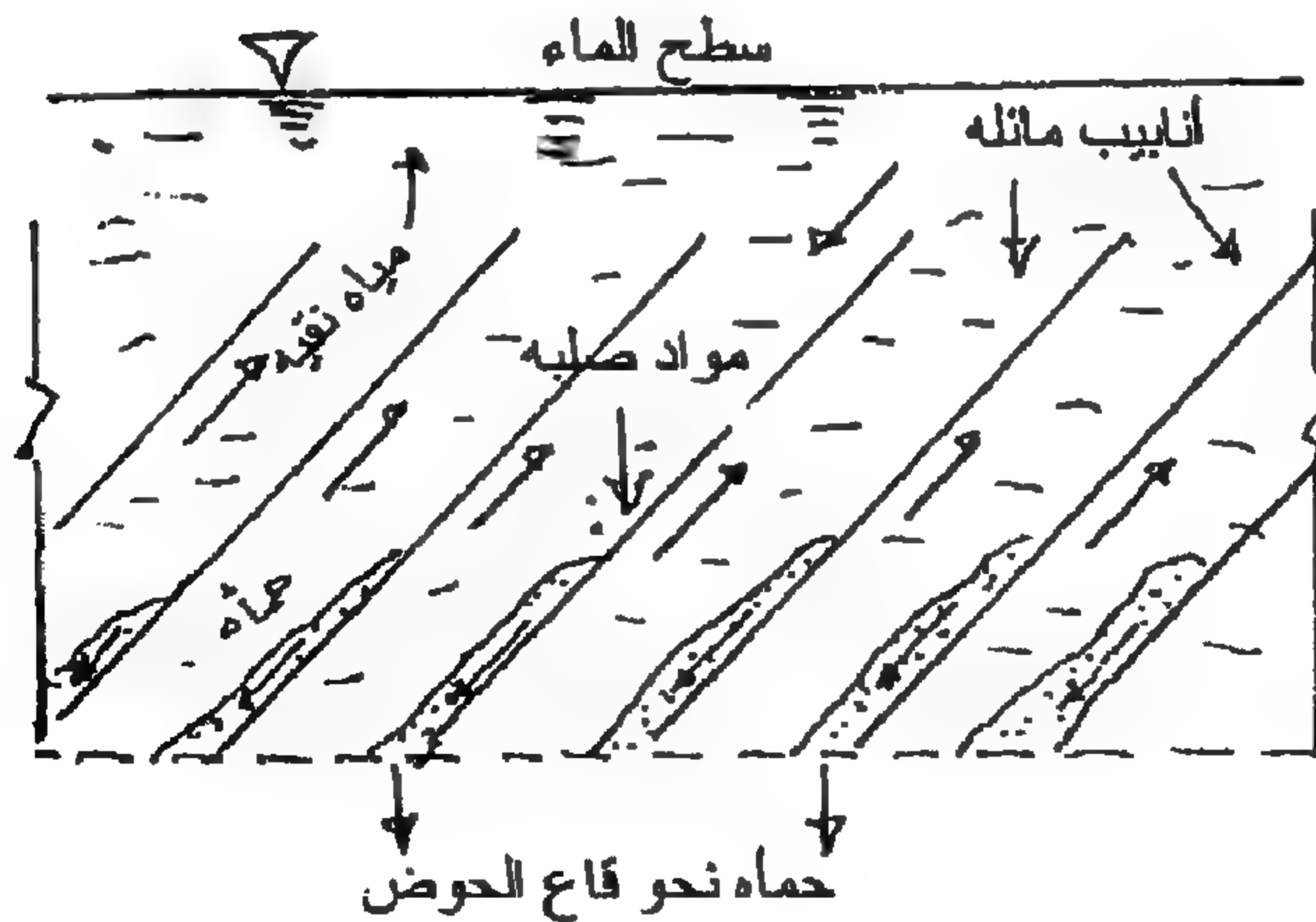
الفصل الثالث

(٣/٥). ولكن معظم أحواض الترسيب تكون بعمق لا يقل عن ٣ متر، وذلك لتوفير مكان لطبقة الحماة وكذلك لعمل كاشطة الحماة الآلية.

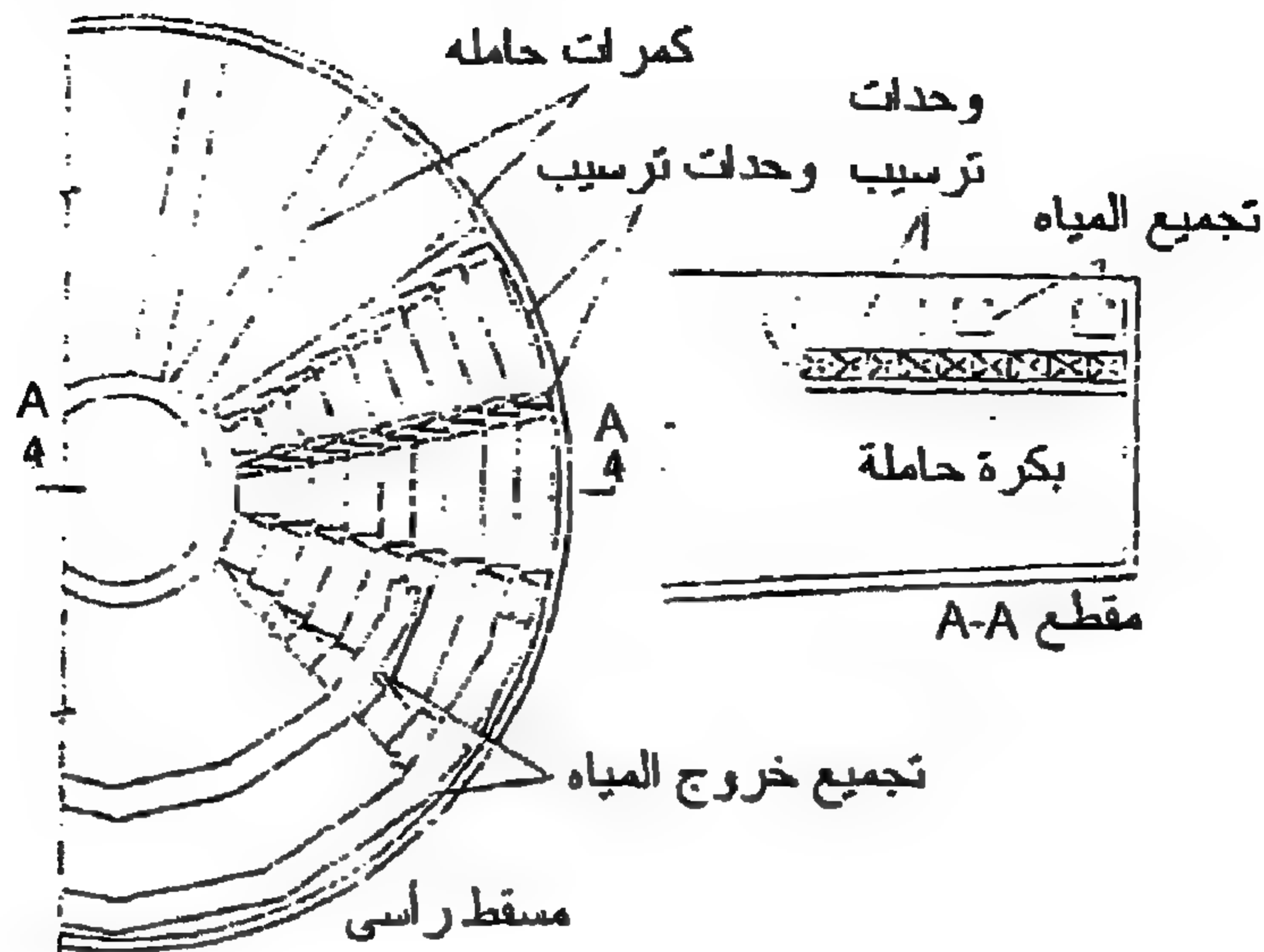
فكرة الترسيب بالعمق الضحل، تستخدم حالياً عند تصميم أحواض ترسيب جديدة أو بغرض زيادة طاقة وكفاءة أحواض الترسيب الموجودة. يمكن استخدام وحدات سابقة التجهيز، أو وحدات تحتوى على العديد من الأنابيب المائلة وإنشائها قريباً من قمة الحوض لزيادة المساحة السطحية المؤثرة. وهذا موضح فى الشكل (٣/٦). كما هو مبين من هذا الشكل يتم الإمساك بالجسيمات العالقة فى الماء عند التدفق لأسفل للحماة فى كل أنبوب، بينما المياه الراكدة تتدفق لأعلى نحو هدارات المخرج. نموذج للترسيب بالأنابيب موضح فى الشكل (٣/٧).



شكل (٣/٥) الحوض الضحل (أ) له معدل تحميل سطحي أقل من (ب) لأن له مساحة سطحية أكبر. فهو أكثر كفاءة فى إزالة المواد الصلبة العالقة مقارنة بالحوض الأكثر عمقا.



شكل (٣/٦) عدد من الأنابيب المائلة لوحد الترسيب يزيد من كفاءة المساحة السطحية لحوض الترسيب. المواد الصلبة القابلة للترسيب تحتجز بسرعة فى الحماة التى تتدفق إلى اسفل فى كل أنبوبة، بينما الماء النقي يتدفق لأعلى.



شكل (٣/٧) يمكن إنشاء أنابيب الترسيب في حوض ترسيب جديد
أو موجود لزيادة كفاءة الإزالة للمواد الصلبة العالقة.

٣- الترويب والتزغيب: (Coagulation and Flocculation)

لا يمكن الإزالة الكاملة للأجسام العالقة من الماء بالترسيب الحر فقط، حتى في حالة توفير زمن ترسيب طويل جداً ومعدل تحميل سطحي منخفض. بعض الجسيمات الصغيرة جداً والمسببة للعكارة والتي تسمى المواد الغروية (Colloids)، لا ترسب بالجاذبية بدون بعض المساعدات. في حالة الخلط السريع لكيماويات معينة والتي تسمى كيماويات الترويب (Coagulants) مع الماء تم التقليل البطيء للخليط قبل حدوث الترسيب، فإن الجسيمات سوف ترسب.

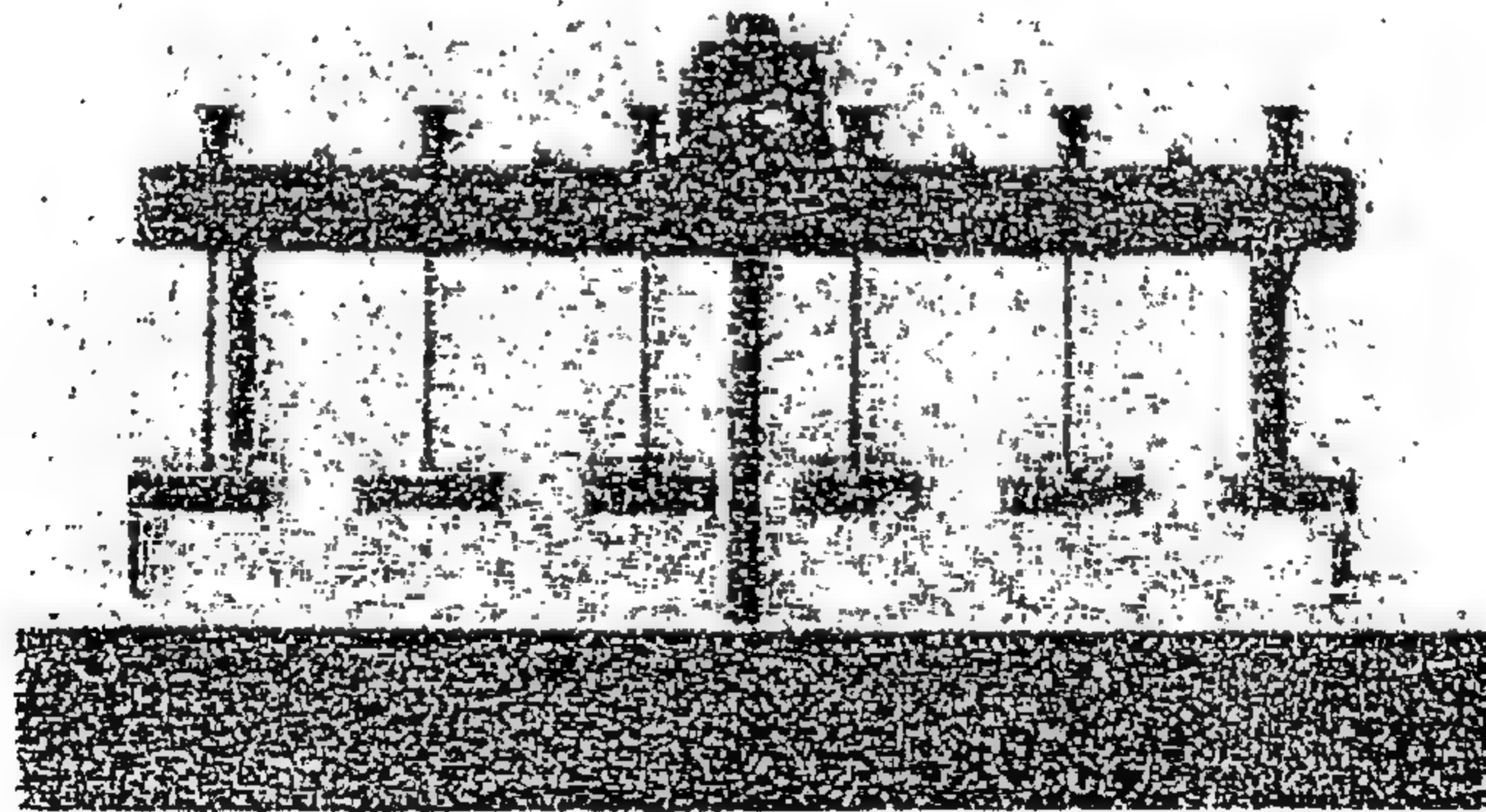
أحد الخواص للجسيمات الغروية التي تجعلها عالقة باستمرار هي الشحنة الكهروستاتيكية التي تحملها. بسبب وجود شحنات متماثلة فإن الجسيمات الغروية كلا منها يدفع الآخر بعيداً مع تجنب التصادم. ولكن كيماويات الترويب، تعادل تأثير شحنات الجسيمات الغروية. مع حدوث التعادل، فإن الجسيمات الغروية يمكن أن تتصادم وتتراكم (Agglomerate) أي تلتصق مع بعضها البعض مكونة جسيمات أكبر حجماً وأكثر وزناً وهذه تسمى زغبات (Floc's). كذلك يتفاعل المروب مع القلوية الطبيعية في الماء، مكوناً راسب صلب لزج والذي يخرج من المحلول ويساعد في تكوين الزغبات وذلك باقتناص الجسيمات.

بعد الخلط الأولي السريع للمروب مع الماء، فإن التقليب البطيء الذى يليه يساعد على نمو وكبر الزغبات وذلك بزيادة عدد تصادمات الزغبات. معظم الزغبات المتكونة أثناء الترويب تكون قابلة للترويب ويمكن إزالتها من الماء فى حوض الترسيب. كما هو موضح فى الشكل (٦/٢) فإن الترويب عموماً يسبق عملية الترسيب فى محطة معالجة المياه التقليدية.

يمكن استخدام أنواع عديدة من الكيماويات للترويب. المروب الأكثر شيوعاً هو كبريتات الألومنيوم $Al_2(SO_4)_3$ وهو يسمى الشبه. أحياناً بعض الكيماويات العضوية المخلقة التى تسمى البلمرات أو البولى اليكتروليتس (Polyelectrolytes) يتم إضافتها مع الشبه لتعمل كعامل مساعد للترويب (Coagulant Aid). هذه المركبات طويلة التسلسل وذات الوزن الجزيئى العالى تساعد فى تكوين جسيمات من الزغبات أكبر وأثقل.

يتوقف نجاح عملية الترويب على عدة عوامل، بما فيها الجرعة الكيماوية ودرجة حرارة الماء، الرقم الهيدروجينى، القلوية - نظراً لأن نوعية إمدادات المياه السطحية عادة تتغير مع الوقت، فإنه عادة من الضرورى غالباً ضبط الجرعة. أفضل جرعة للمروب يتم تعيينها عادة فى المعمل بطريقة تسمى اختبار القنينة (Jar - Test). فى اختبار القنينة يتم ملء ست قنينات بعينة من الماء الخام، يتم خلط كل عينة مع كمية مختلفة من المروب. يتم استخدام جهاز التقليب الموضح فى الشكل (٣/٨). لتوفير الخلط البطيء، وهذا يقوى عملية الترويب.

بعد توقف أذرع التقليب، فإنه يسمح للزغبات أن ترسب فى القنينة. الجرعة فى القنينة التى تطلبت أقل كمية من المروب لإنتاج الماء الرائق مع تكون جيد للزغبات سريعة الترسيب تستخدم لحساب الجرعة لكل محطة معالجة المياه. يمكن عمل اختبارات إضافية بنفس الجهاز لتعيين تأثيرات الرقم الهيدروجينى، أو القلوية على تكون الزغبات لزيادة كفاءة العملية.



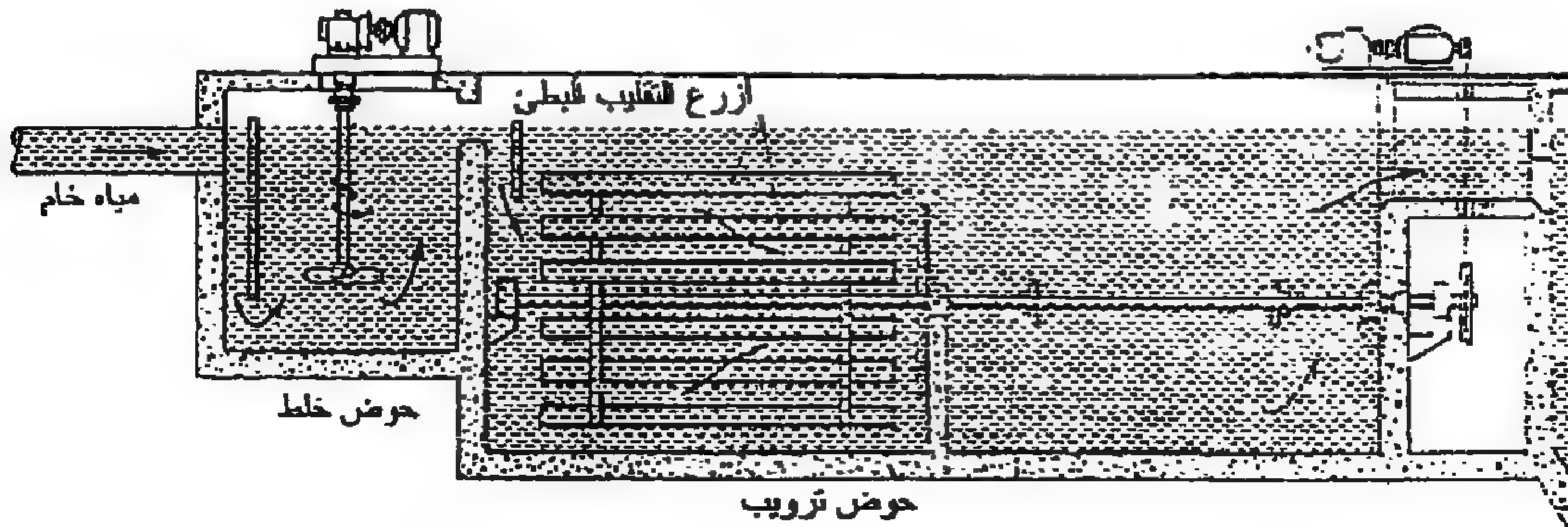
شكل (٣/٨) جهاز التقليب لاختبار القنينة المستخدمة فى

تعيين أقصى جرعة مروب مناسبة

الخطوة الأولى فى عملية الترويب هى الخلط السريع للمروب مع الماء. وهذه تتضمن التقليل السريع لسرعة انتشار الكيماويات خلال الماء ولتأكيد حدوث التفاعل الكيماوى التام. أحيانا يتم ذلك بإضافة الكيماويات فى خط السحب الذى يسبق مباشرة طلمبة الطرد المركزى للرفع الواطى التى تضخ المياه إلى محطة المعالجة. دافع الطلمبة يوفر الخلط السريع داخل غلاف الطلمبة. فى معظم محطات المعالجة، يتم إنشاء دافع سريع الدوران فى حوض صغير الذى يوفر زمن مكث دقيقة واحدة. هذه الأحواض للخلط السريع عادة تبنى قريبا من أحواض الترغيب مباشرة وذلك لتوفير تكاليف الإنشاء كما هو موضح فى الشكل (٣/٩).

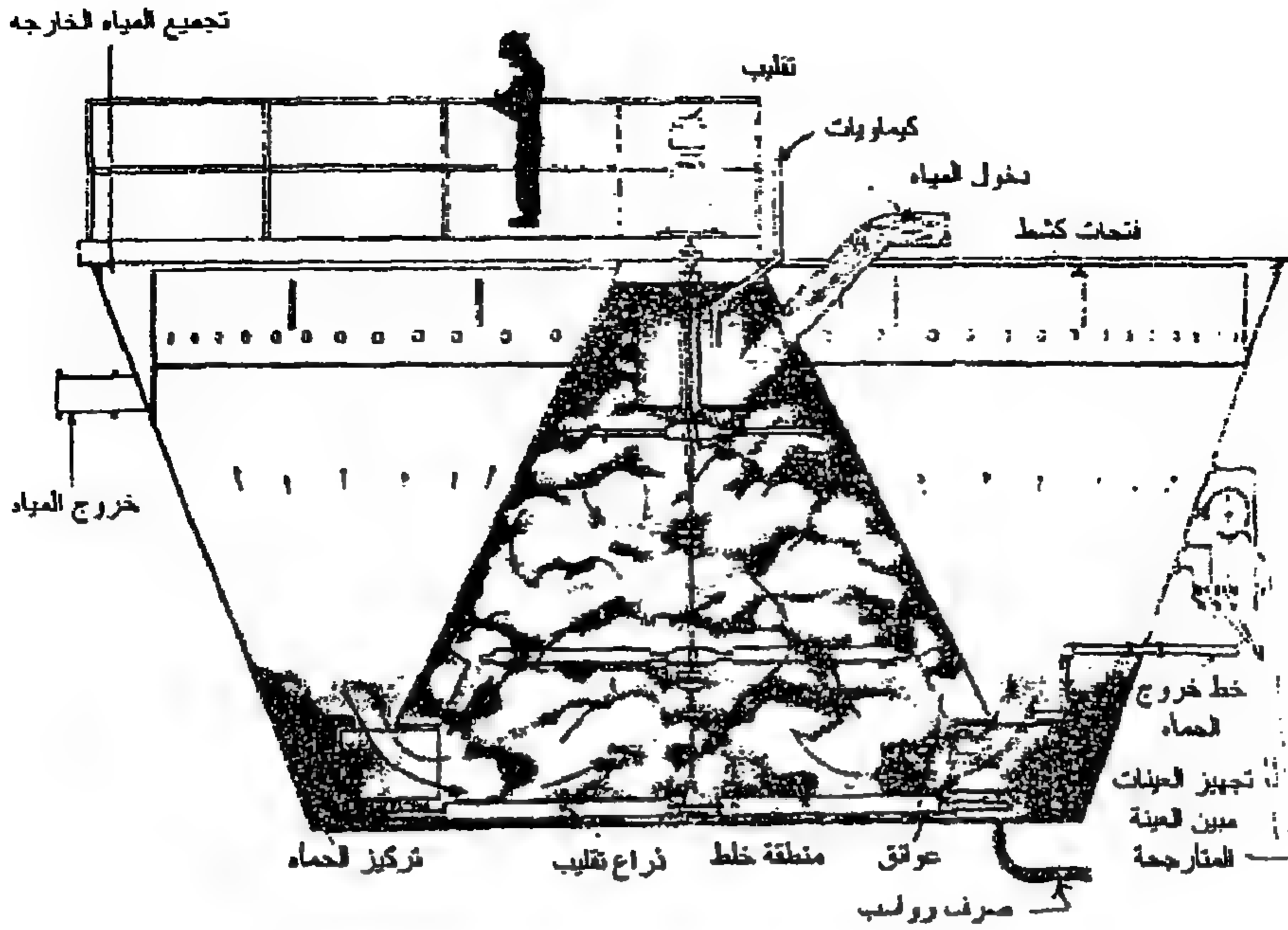
حجم حوض الترغيب يكون مصمما لتوفير زمن مكث حتى ساعة واحدة للتقليل البطئ. المستخدم عادة من المزغبات هى ذات الأذرع (Paddle)، ذلك باستخدام الواح من الخشب الأحمر مثبتة أفقياً على عامود يدار بمحرك. الدوران البطئ بمعدل حوالى لفة واحدة فى الدقيقة، يمكن الأذرع من التقليل البطئ الذى يوفر نمو الزغبات.

بعض محطات المعالجة الصغيرة نسبياً تجمع إضافة الكيماويات، الترغيب، الترسيب فى حوض واحد، الذى يسمى المروق بالتدفق العلوى أو حوض الأجسام الصلبة الملتصقة (Solid Contact Tank or up flow clarifier). كما هو موضح فى الشكل (٣/١٠). إضافة الكيماويات والخلط السريع يحدث عند دخول الماء إلى الحوض، فى المنتصف. تتدفق المياه أولاً إلى أسفل الشكل المخروطى حيث يحدث الترغيب. ثم تتدفق إلى أعلى خلال الجزء من الحوض الذى يعمل على الترسيب بالجاذبية. تتكون طبقة من الزغبات عند قاع الحوض. وحدات المعالجة مثل هذه مفيدة خصيصاً فى المحطات حيث الماء يجب كذلك إزالة عسرة بإضافة الجير المطفى وحيث المساحات من الأرض الفضاء تكون محدودة.



شكل (٣/٩) مقطع فى حوض الخلط السريع وحوض الترويب

المستخدمين فى عملية الترويب



شكل (٣/١٠) مروق التصاق المواد الصلبة العالقة

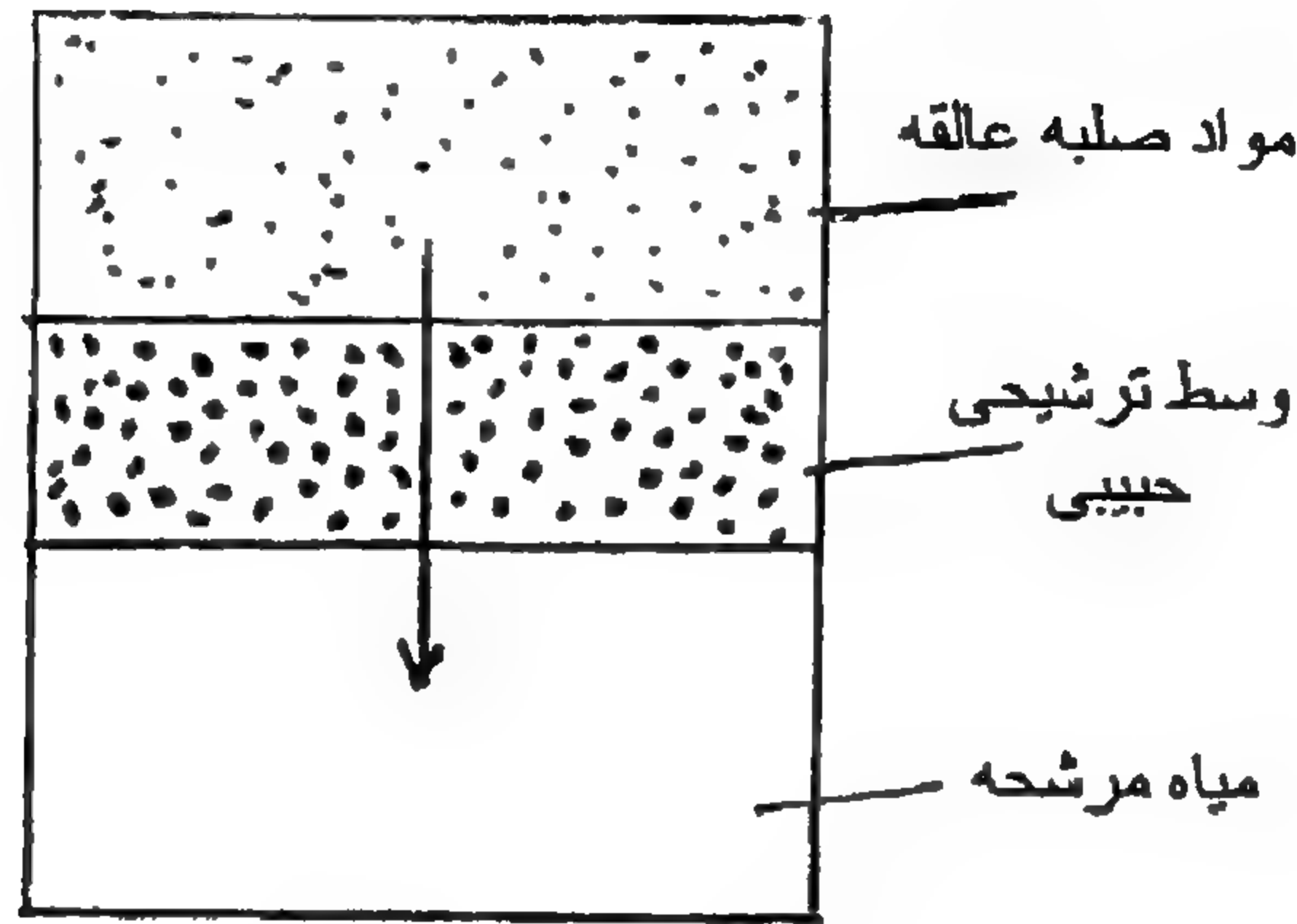
الترويب الصابورة لزيادة الثقل : (Ballasted Coagulation)

التطوير الحديث في تكنولوجيا الترويب هي بإضافة حبيبات الرمل الرفيع لخليط الشبه والبولمير. حبيبات الرمل تلتصق مع المواد المروبة وتضيف ثقل بما يسرع في عملية الترسيب. يستخدم جهاز يسمى الهيدروسيلكون لفصل الرمال من الحماة، بما يمكن من استعادة استخدام الرمال بعد غسلها. ترويب الصابورة لزيادة الثقل يوفر معالجة نفس كمية المياه في حوض أصغر عن المطلوب بخلاف ذلك.

٤- الترشيح : (Filtration)

حتى مع استخدام المروبات الكيماوية، فإن الترسيب بالجاذبية لا يكفي لإزالة كل الملوثات العالقة في الماء. حوالي ٥% من المواد الصلبة العالقة قد يظل في شكل زغبات غير قابلة للترسيب. هذه الزغبات المتبقية يمكن أن تسبب عكارة واضحة كما أنه يمكنها احتضان الكائنات الحية الدقيقة وحمايتها من عملية التطهير التالية. للحصول على مياه صالحة للشرب نقية بلورية التي تتطابق مع المواصفات القياسية وهي أن العكارة لا تزيد عن ٠,٥ نيفيلومترى، فإنه يلزم معالجة إضافية تلي عملية الترويب والترسيب.

هذه المعالجة هي عملية طبيعية تسمى الترشيح. الترشيح يشمل إزالة الجسيمات العالقة من الماء بتمريرها خلال طبقة من مادة حبيبية مسامية مثل الرمال. مع تدفق المياه خلال طبقة الترشيح، يتم احتجاز الأجسام العالقة خلال مسام الوسط الترشيحي. وهذا موضح في الشكل (٣/١١). الترشيح عملية معالجة شديدة الأهمية لتنقية المياه السطحية. ولذلك فإن محطات المعالجة هذه تسمى المعالجة بالمرشحات رغم أن الترشيح هو خطوة واحدة فقط في كل عملية المعالجة.



شكل (٣/١١) مخطط لعملية الترشيح

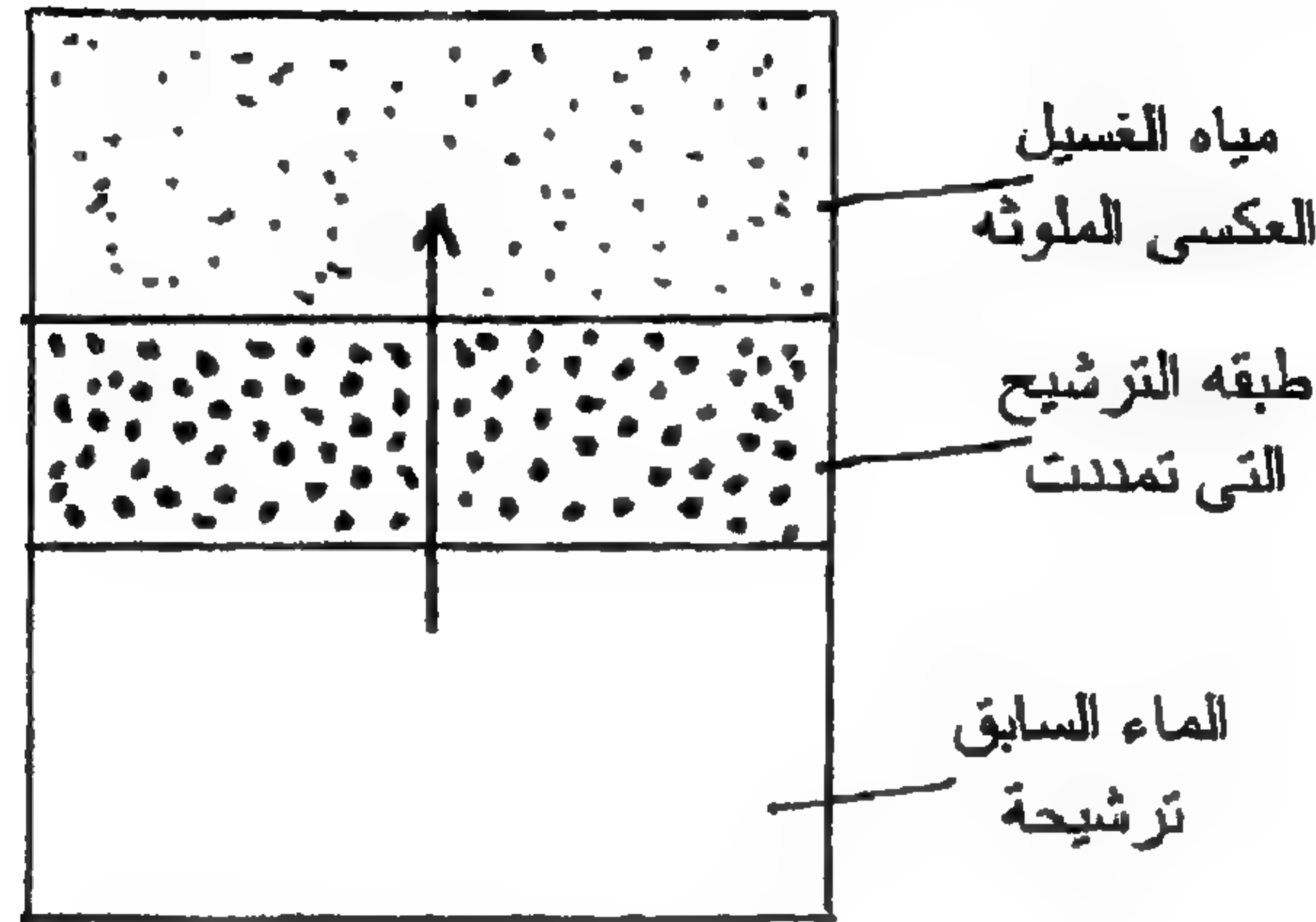
المرشحات السريعة : (Rapid Filters)

المرشحات الأولى التي أنشئت لتنقية المياه استخدمت الرمل الرفيع كوسط ترشيحي. بسبب المسام الصغيرة في الرمال الرفيعة، فإن المياه كانت تأخذ وقتاً طويلاً لتتدفق خلال الوسط الترشيحي، وعند حدوث انسداد للسطح بالجسيمات العالقة، يكون من الضروري كشط سطح الرمال يدوياً لتنظيف المرشح. هذه الوحدات سميت المرشحات الرملية البطيئة، كانت تحتاج إلى مساحة كبيرة من الأرض بسبب المعدل البطيء للتدفق. المرشحات الرملية البطيئة مازالت تستخدم نظراً لكونها مؤثرة وغير مكلفة نسبياً بالنسبة للتشغيل.

في محطات معالجة المياه الحديثة، تم استبدال الترشيح الرملي البطيء بالترشيح الرملي السريع، حيث تتدفق المياه خلال الوسط الترشيحي أسرع مقارنة بالتدفق خلال طبقة الترشيح الرملي البطيء (أسرع بحوالي ٣٠ ضعف). وهذا جعل من الضروري تنظيف المرشح مرات أكثر. ولكن بدلاً من النظافة اليدوية بكشط الطبقة السطحية للوسط

الترشيحي، فإن المرشحات السريعة يتم تنظيفها بتغيير اتجاه التدفق خلال طبقة الوسط الترشيحي. وهذا موضح في الشكل (٣/١٢).

أثناء الترشيح، تتدفق المياه إلى أسفل خلال الوسط الترشيحي بفعل الجاذبية. عند غسيل المرشح، يتم دفع المياه النظيفة إلى أعلى، حيث يتمدد الوسط الترشيحي قليلاً حاملاً بعيداً الملوثات المتراكمة. هذه العملية تسمى الغسيل العكسي (Back Washing). النظافة بعملية الغسيل العكسي هو من خواص المرشح السريع.



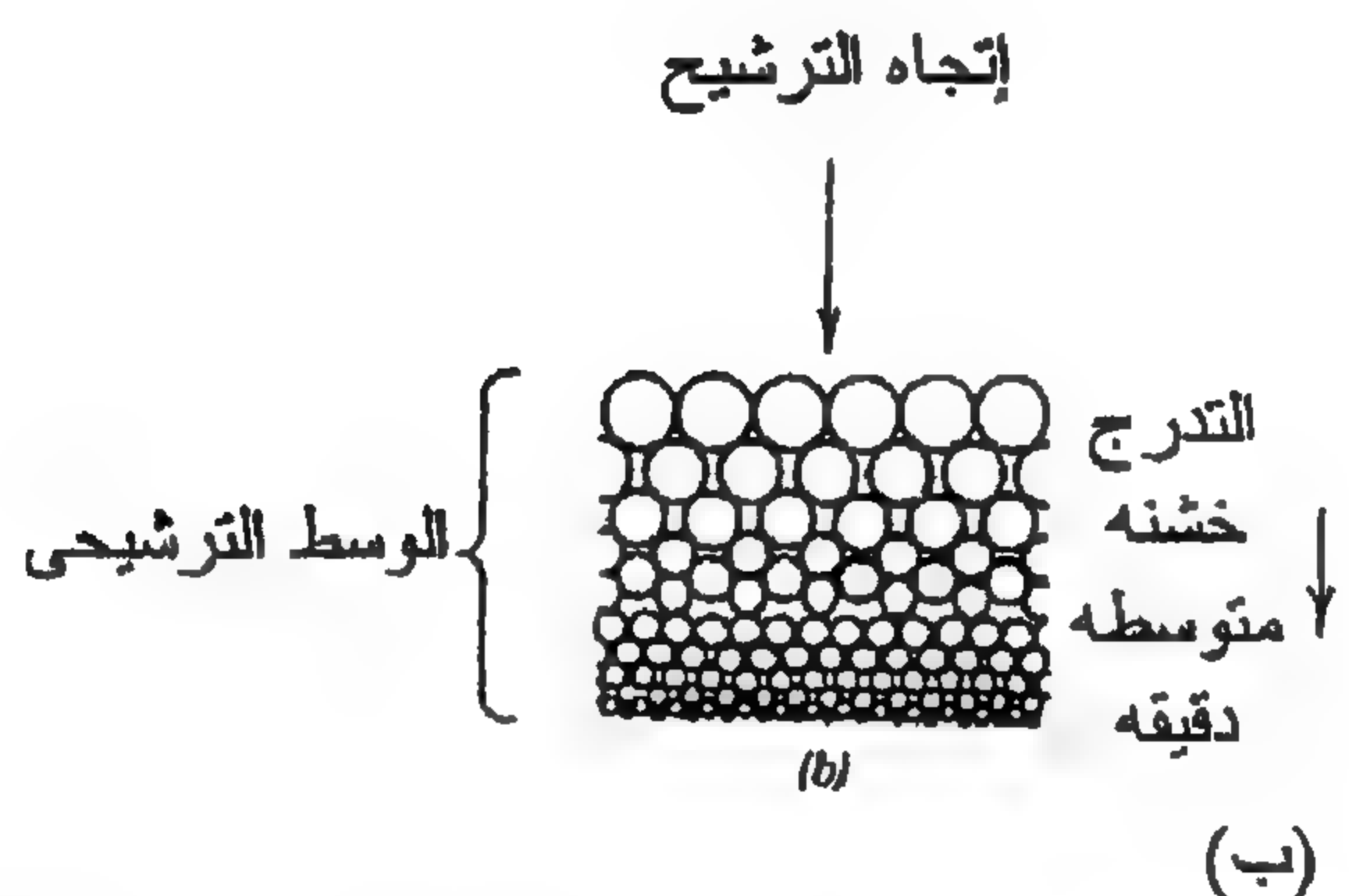
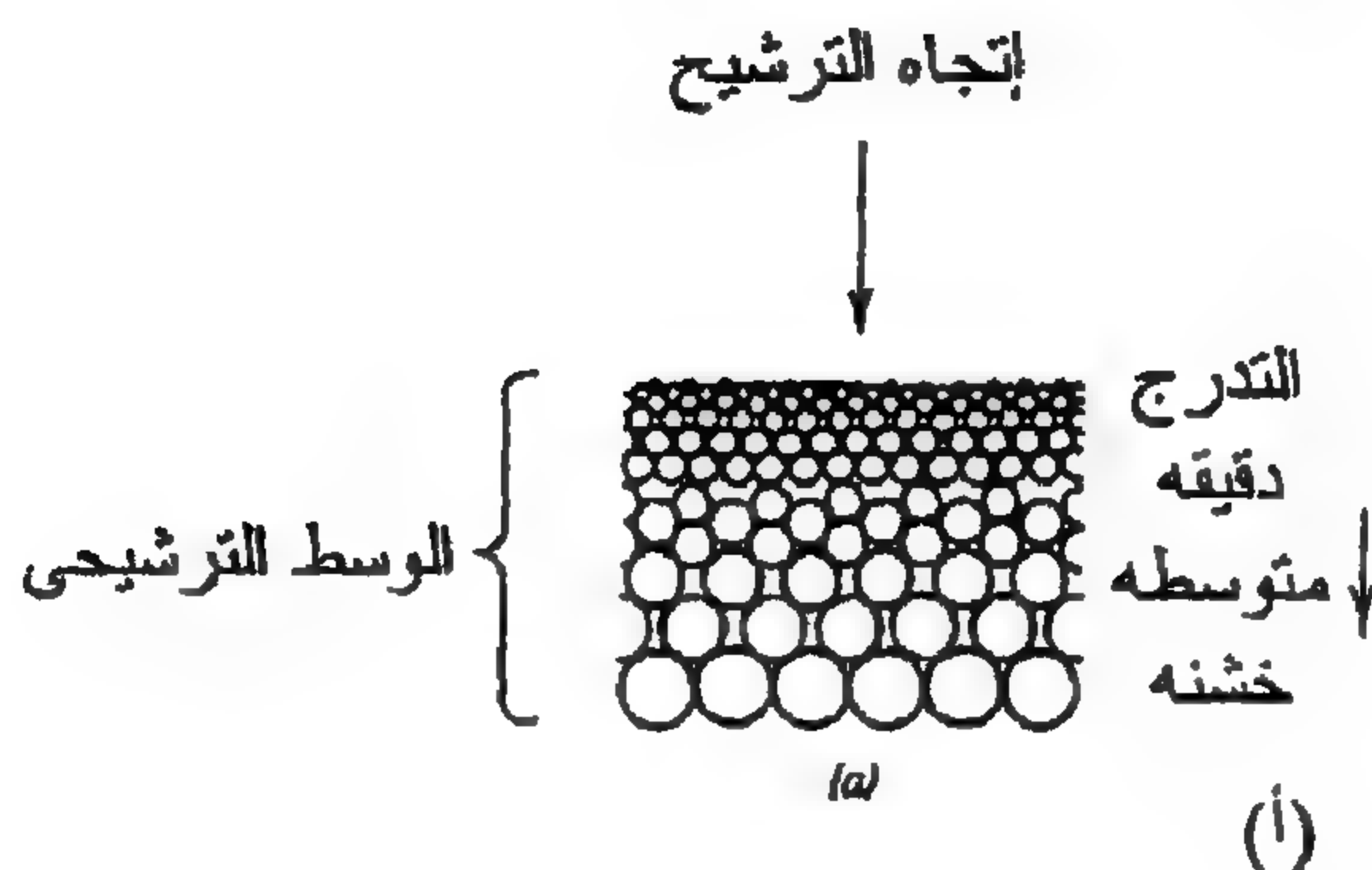
شكل (٣/١٢) مخطط لدورة الغسيل العكسي للمرشح السريع

كثيراً من المرشحات السريعة تستخدم الرمل كوسط ترشيحي وهذه تسمى المرشحات الرملية السريعة. ولكن حبيبات الرمل (والمسام بين الحبيبات) أكبر من تلك المرشحات الرملية البطيئة. في المرشح الرمل السري، القطر المؤثر (Effective Size) للرمل هو حوالي ٠,٥ ملمتر ومعامل التجانس (Uniformity Coefficient) هو ١,٥ (راجع الفصل الأول بند ٤ من الجزء الأول).

الصعوبة التي تظهر عند استخدام الرمل فقط في المرشح السريع هي أنه بعد الغسيل العكسي، حبيبات الرمال الأكبر ترسب عند القاع أولاً، تاركة حبيبات الرمل الأصغر على سطح المرشح. هذا الشكل لتدرج الوسط الترشيحي موضح في الشكل (٣/١٣-أ).

بسبب هذا التدرج من الأصغر إلى الأكبر لحبيبات الرمل في اتجاه التدفق، فإن معظم أداء الترشيح يحدث في الطبقة العليا للوسط الترشيحي. وهذا ينتج عنه كفاءة ضعيفة لاستخدام المرشح. دورة الترشيح (الفترة الزمنية بين عمليات الغسيل العكسي) تقل، ويلزم الغسيل العكسي من آن إلى آخر. كذلك في حالة اختراق بعض من المواد الصلبة العالقة الطبقة العليا للرمل، فإنه من المحتمل أن تمر خلال كل طبقة الوسط الترشيحي.

التوزيع الحجمي المفضل لمادة الترشيح موضح في الشكل (١٣/٣-ب) التدرج للحبيبات من الأصغر إلى الأكبر يسمح بوصول الجسيمات العالقة إلى أعماق أكبر خلال الوسط الترشيحي وهذا الترشيح في العمق يوفر مساحة تخزين أكبر للمواد الصلبة، كما يوفر مقاومة أقل للتدفق، ويزيد من الفاصل الزمني بين عمليات الغسيل العكسي. عملية الترشيح تصبح أكثر من كونها مجرد حجز على السطح. عمليات الترغيب والترسيب تحدث كذلك خلال المسام، ويحدث ادمصاص لبعض على أسطح الوسط الترشيحي.



شكل (١٣/٣-أ) نموذج لطبقة الترشيح السريع. تحدث إزالة للمواد الصلبة أساساً بفعل الحجز لطبقة المرشح العليا. (ب) نموذج التدرج من الخشن إلى الدقيق في مرشح الطبقة المختلطة فهي مفضلة عن الطبقة الرملية لأنها توفر ترشيح في العمق.

للحصول على أفضل تدرج للترشيح في العمق، يكون من الضروري استخدام اثنتين أو ثلاث من مواد الترشيح المختلفة. فمثلاً، في حالة وضع طبقة خشنة من فحم الأنثراثيت فوق الرمل فإن حبيبات الفحم سوف تظل دائماً في القمة بعد حدوث الغسيل العكسي. ذلك لأن الفحم له كثافة منخفضة كثيراً عن الرمل. حتى في حالة كبر حبيبات الفحم عن حبيبات الرمل، فإنها أخف ولذلك فإنها ترسب ببطء. حبيبات الرمل الأثقل ترسب نحو قاع

طبقة الترشيح أولاً عند نهاية دورة الغسيل العكسي. المرشح السريع الذي يستخدم كلا من الفحم والرمل يسمى المرشح ذو الوسط الترشيحي المزدوج. طبقة الفحم العليا تعمل كمرشح خشن، حيث تزيل معظم الملوثات كبيرة الحجم أولاً. وهذا يسمح لطبقة الرمل في إزالة الجسيمات الصغيرة بدون أن يحدث لها انسداد سريع.

التدرج من الخشن إلى الدقيق الموضح في الشكل (٣/١٣-ب) يمكن الحصول عليه باستخدام ثلاث مواد ترشيح: الفحم، الرمل، الجارنيت (الجارنيت هو مادة عالية الكثافة وهي تسمى كذلك العقيق الأحمر). بعد الغسيل العكسي تكون الطبقة العليا للوسط الترشيحي معظمها من الفحم، الطبقة الوسطى يكون معظمها من الرمل، والطبقة السفلى تكون غالباً من حبيبات العقيق الأحمر الدقيق. وهذا يسمى الوسط الترشيحي المختلط. مادة الترشيح تتراوح في الحجم من حوالي ٢ ملمتر عند القمة إلى حوالي ٠,٢ ملمتر عند القاع. في السنين الأخيرة، تم استخدام المرشحات المزدوجة والمختلطة لاستبدال المرشحات الرملية السريعة المقامة حالياً في كثير من محطات المعالجة.

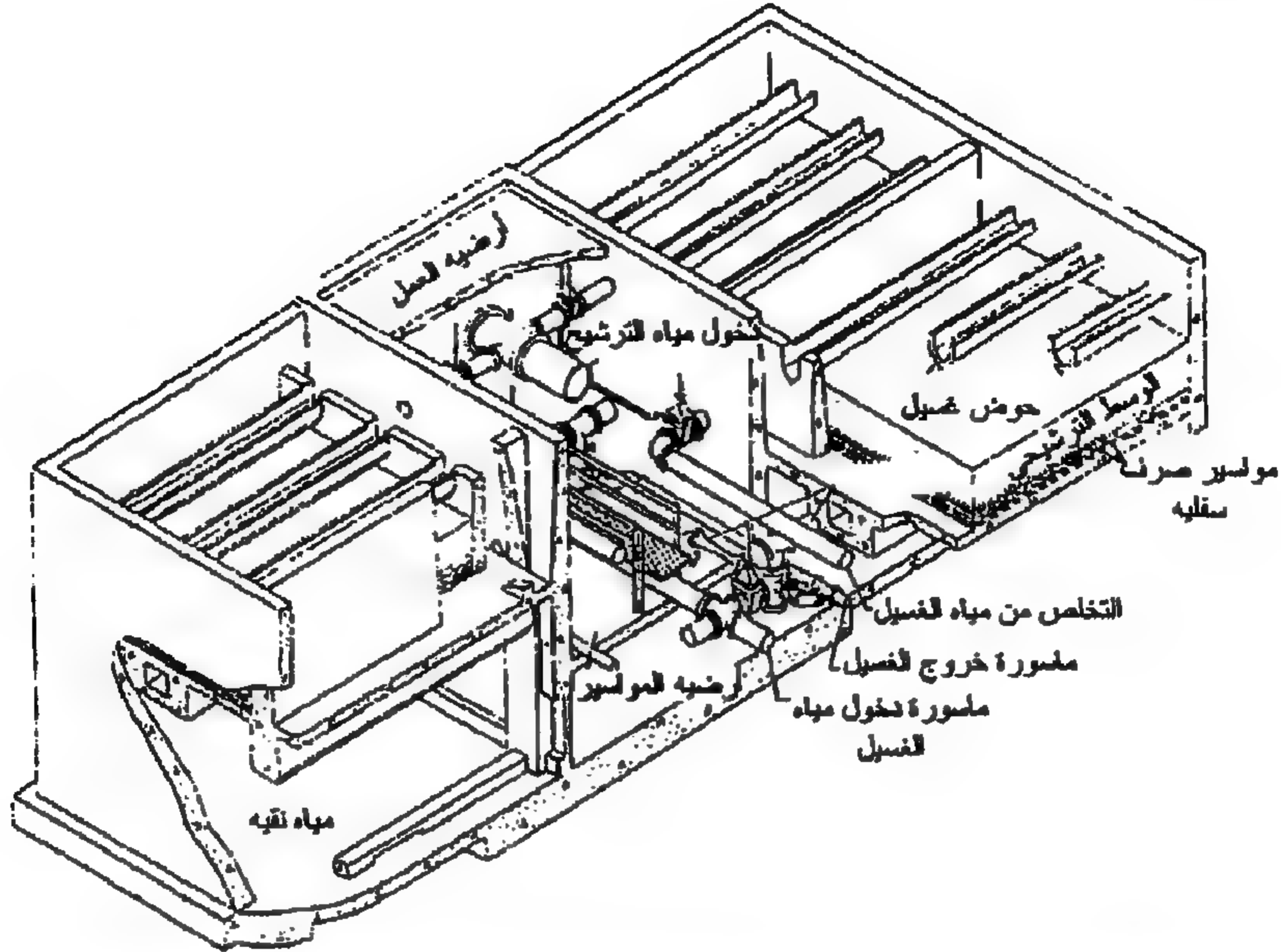
تصميم المرشح : (Filter Design)

المرشحات السريعة سواء كانت من الرمل، أو الوسط المزدوج أو المختلط عادة يتم بناءها في شكل منشأ خرساني صندوقي كما هو موضح في الشكل (٣/١٤). صناديق الترشيح المتعددة هي وحدات موضوعة على جانبي ماسورة مياه رئيسية، مع استخدام خزان لتخزين المياه المرشحة والذي يكون عادة أسفل المرشحات. نظراً لأنه يتم الغسيل العكسي لوحدة واحدة في وقت واحد، فإن عملية الترشيح يمكن أن تحدث باستمرار مع تدفق المياه خلال محطة المعالجة.

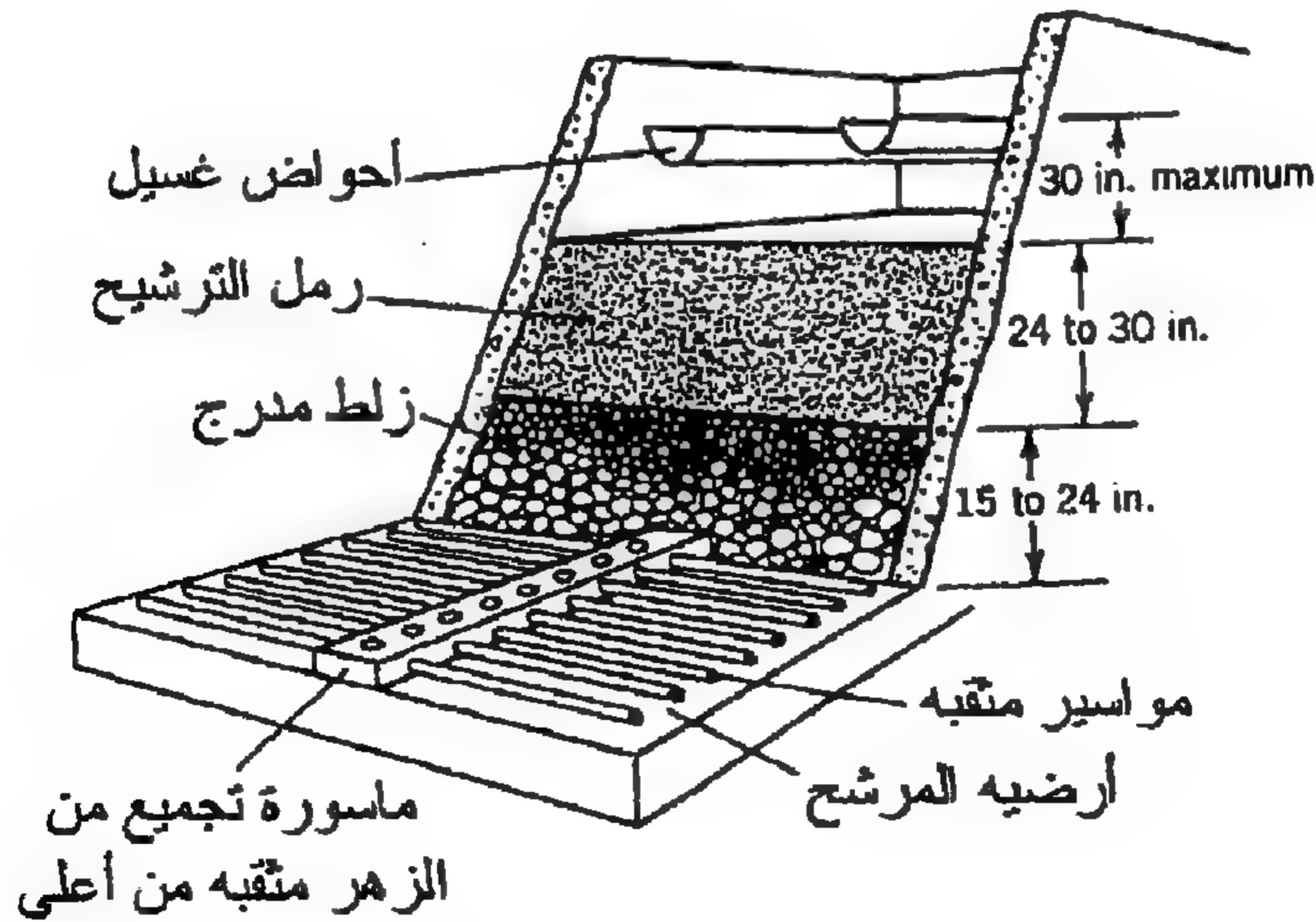
نموذج للمرشح السريع الصندوقي هو حوالي بعمق ٣ متر (١٠ قدم)، ولكن الوسط الترشيحي نفسه هو فقط ٠,٧٥ متر (بعمق حوالي ٢,٥ قدم). يوضع فوق سطح طبقة الترشيح أحواض مياه الغسيل، والتي تحمل مياه الغسيل المتسخة مع تدفقها إلى أعلى خلال الوسط الترشيحي. الوسط الترشيحي يتم حمله على طبقة من الزلط الخشن. أسفل الزلط، الذي يعمل فقط على حمل الوسط الترشيحي ولا يشارك في عملية الترشيح، يوجد قاع خاص للمرشح أو نظام للصرف السفلي.

نظام الصرف السفلي يقوم بجمع المياه المرشحة ويقوم بالتوزيع المتساوي لمياه الغسيل خلال قاع المرشح أثناء دورة الغسيل العكسي. وقد يتكون نظام الصرف السفلي من مواسير مثقبة تؤدي إلى ماسورة تجميع التي تحمل المياه إلى حوض تجميع المياه

المرشحة. في كثير من المرشحات، يتكون نظام الصرف السفلى من كتل خاصة مثقبة أو من ألواح الصلب ذات فتحات ضيقة للمساعدة في توزيع مياه الغسيل. مقطع في وحدة ترشيح موضح في الشكل (٣/١٥).



شكل (٣/١٤) المرشح الرملى السريع. المياه المرشحة يتم تخزينها مرقنًا في حوض المياه النقية. العديد من صناديق الترشيح توفر مرونة في التشغيل يتم الغسيل العكسي لمرشح واحد في المرة الواحدة.



شكل (٣/١٥) مقطع في نموذج لصندوق المرشح الرملى السريع

كفاءة الترشيح وطول دورة الترشيح تعتمد على معدل الترشيح. معدلات الترشيح البطيئة عادة توفر دورات ترشيح طويلة وتنتج نوعية مياه عالية، ولكن هذه تتطلب مرشحات كبيرة. معدل الترشيح عادة يعبر عنه بأنه معدل تدفق المياه مقسوماً على المساحة السطحية للمرشح. وهي تكون إما بالجالون في الدقيقة على القدم المربع أو بالتر في الثانية على المتر المربع. عادة يتم تصميم المرشحات الرملية السريعة لتعمل بمعدل متوسط حوالي ١,٤ لتر في الثانية على المتر المربع أو ٢ جالون في الدقيقة على القدم المربع، وذلك عند استخدام مرشحات الوسط الترشيحي المختلط حيث تعمل بكفاءة عند معدل متوسط حوالي ٣,٥ لتر في الثانية على المتر المربع أو ٥ جالون في الدقيقة على القدم المربع. معدل الترشيح يتناسب مع سرعة التدفق خلال طبقة الوسط الترشيحي.

مثال :

وحدة ترشيح ذات مساحة سطحية ٥٠ قدم مربع. معدل التدفق خلال المرشح هو ٠,٢٥ مليون جالون في اليوم. احسب معدل الترشيح والسرعة التي عندها تتدفق المياه خلال الوسط الترشيحي.

الحل :

أولاً، حول معدل التدفق إلى جالون في الدقيقة كالآتي :

$$٢٥٠,٠٠٠ \text{ جالون/اليوم} \times ١ \text{ يوم} \div ٢٤ \text{ ساعة} \times ١ \text{ ساعة} \div ٦٠ \text{ دقيقة}$$

$$= ١٧٤ \text{ جالون في الدقيقة}$$

$$\text{ثم: معدل الترشيح} = ١٧٤ \text{ جالون في الدقيقة} \div ٥٠ \text{ قدم مربع} =$$

$$= ٣,٥ \text{ جالون في الدقيقة/القدم المربع}$$

$$\text{السرعة} = ٣,٥ \text{ جالون/الدقيقة} \div \text{قدم مربع} \times ١ \text{ قدم مكعب} \div ٧,٥ \text{ جالون}$$

$$= ٠,٤٧ \text{ قدم في الدقيقة}$$

مثال :

مرشح صندوقى مربع يلزم تصميمه لمعدل ترشيح ٢,٨ لتر في الثانية على المتر المربع. ما هي المساحة السطحية المطلوبة وأبعاد أجناب الوحدة إذا كان معدل التدفق ٦ مليون لتر في اليوم؟

الحل :

معدل التدفق باللتر في الثانية هو

$$6 \times 10^6 \text{ لتر في اليوم} \div 24 \text{ ساعة في اليوم} \div 3600 \text{ ثانية في الساعة} \\ = 69,4 \text{ لتر في الثانية}$$

حيث أن معدل الترشيح = معدل التدفق ÷ المساحة

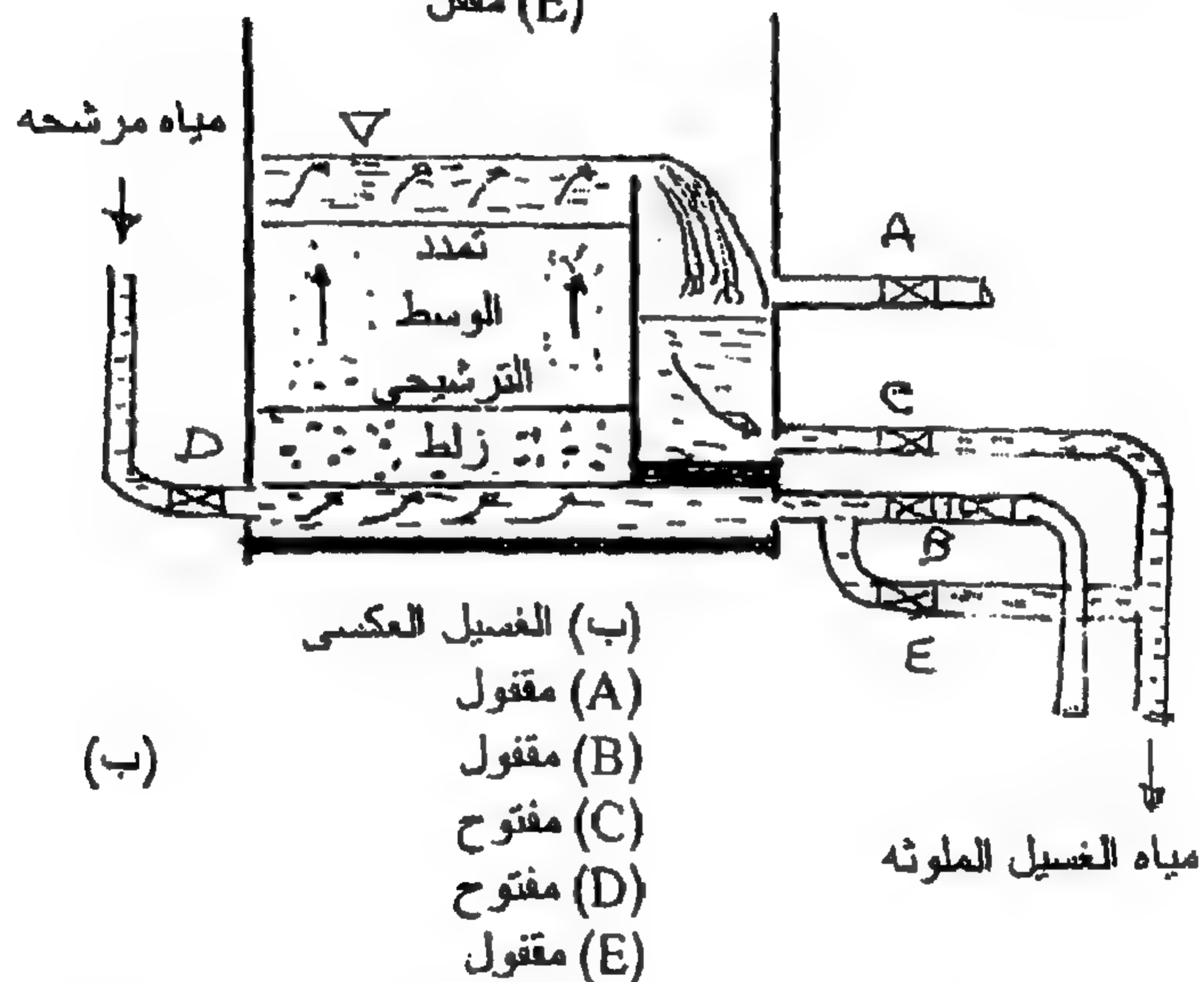
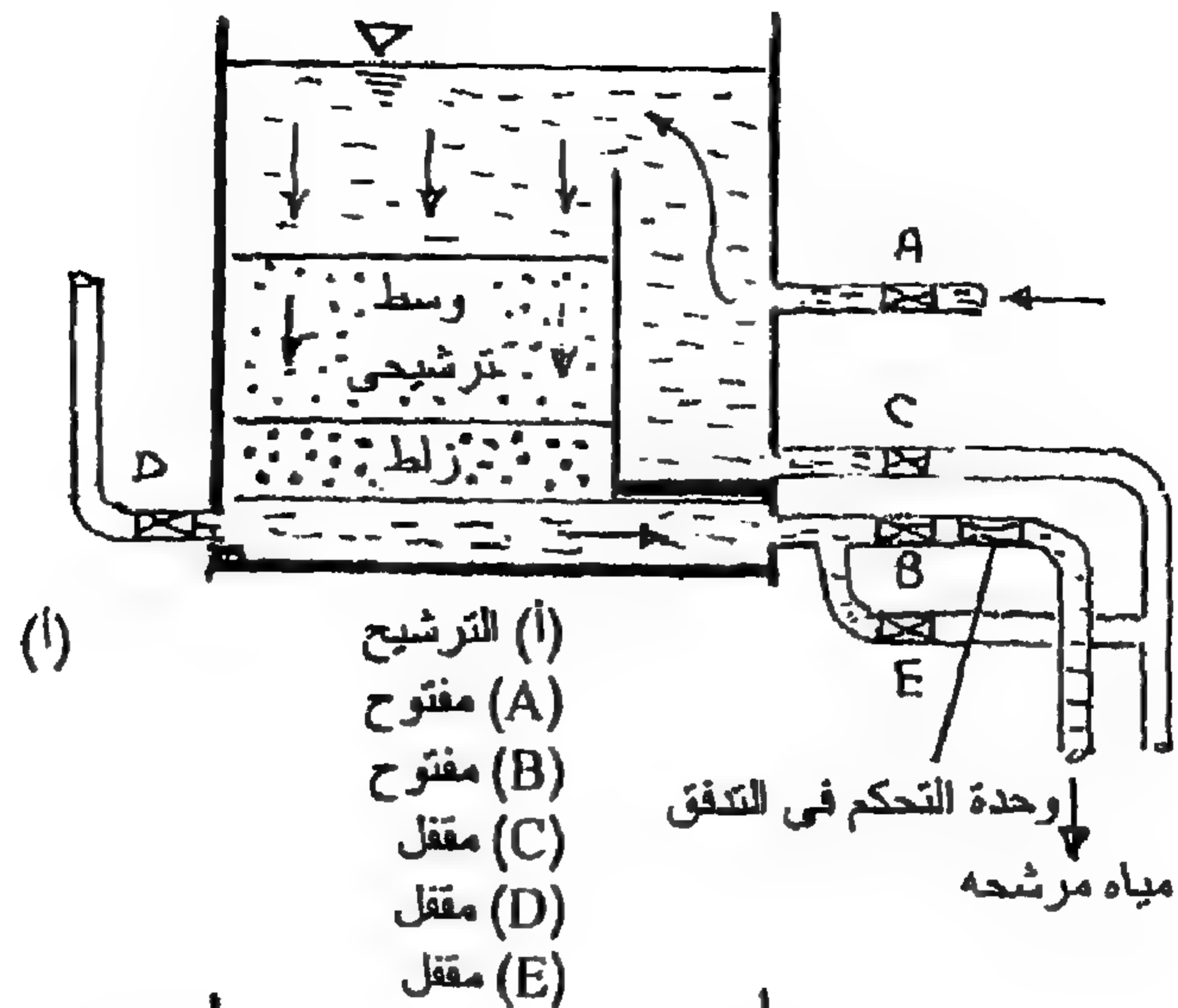
المساحة = معدل التدفق ÷ معدل الترشيح

$$= 69,4 \text{ لتر} / \text{الثانية} \div 2,8 \text{ لتر} / \text{المتر المربع في الثانية} \\ = 25 \text{ متر مربع}$$

و أبعاد الأجناب = $\sqrt{25}$ متر مربع = 5 متر**عمل المرشح : (Filter Operation)**

الترشيح السريع عادة يسبقه الترويب والترسيب. في بعض الحالات، طبقاً لنوع المياه الخام يمكن استخدام الترشيح مباشرة. في الترشيح المباشر يحدث خلط المروب والترغيب ولكن لا تتم خطوة الترسيب. فبدلاً منها تتدفق المياه من حوض الترويب مباشرة نحو المرشح. هذا يحقق وفر في مساحة محطة المعالجة وكذلك في تكاليف الإنشاء (بعض محطات الترشيح تستخدم كذلك الأوزون وعملية تسمى الطفو للمساعدة في عملية الترويق).

مقطع لوحدة المرشح السريع موضح في الشكل (٣/١٦) عند بدء الترشيح خلال الطبقة النظيفة، عادة يكون محبس الدخول (A) تام الفتح ومحبس الخروج (B) مفتوح جزئياً. المحبس (B) يتم فتحه بالتدريج بعد ذلك باستخدام جهاز تحكم آلي لمعدل الترشيح. الذي يعمل باستشعار فرق الضغط نتيجة التغيرات في معدل التدفق. تجهيزة التحكم هي عادة مقياس الفنشورى (Venture Meter).



شكل (٣/١٦) المرشح السريع في (أ) دورة الترشيح، (ب) دورة الغسيل العكسي

مع تراكم المواد الصلبة في المرشح، تزداد مقاومة التدفق خلال طبقة الوسط الترشيحي وبذلك يقل معدل الترشيح. انخفاض التدفق يتم استشعاره بجهاز التحكم في المعدل، والذي يسبب فتح المحبس (B). الفتح التدريجي للمحبس (B) يعوض عن المقاومة المستمرة في الزيادة في طبقة الترشيح. بهذه الطريقة، فإن معدل التدفق خلال المرشح لا يتغير. هذا النوع من التشغيل يسمى الترشيح بالمعدل الثابت (Constant Rate Filtration). أثناء الترشيح بالمعدل الثابت يظل منسوب المياه في صندوق المرشح حوالي ١ متر فوق أعلى طبقة الوسط الترشيحي.

أحياناً، يحدث انسداد لطبقة الترشيح إلى الحد حيث يجب أن يكون المحبس (B) مفتوحاً باتساع للمحافظة على معدل الترشيح المطلوب. عند هذه النقطة يكون من الضروري نظافة المرشح أو الغسيل العكسي. ولعمل ذلك، يتم قفل المحابس (A)، (B) ويتم فتح المحابس (B)، (C). المياه من حوض مياه الغسيل العكسي عندئذ تتدفق إلى أعلى خلال طبقة الترشيح، وتعمل على تمدها قليلاً حاملة إلى أعلى المواد الصلبة المتراكمة. مياه الغسيل العكسي الحاملة للملوثات تتدفق في أحواض الغسيل العكسي ثم، إما يتم إعادة تدويرها أو صرفها في شبكة الصرف الصحي.

مياه الغسيل العكسي تحتوي على مستوى عالي من الكائنات الميكروبية الضارة مثل (Cryptosporidium). التدوير الغير جيد لمياه الغسيل العكسي كان السبب في عدد من الأمراض. ولذلك فإنه حالياً يتم عدم الاستخدام المباشر لمياه الغسيل العكسي وتدويرها مباشرة حيث يتم دفعها حاملة للملوثات إلى وحدة المعالجة لتنفيذ جميع عمليات المعالجة عليها.

المرشحات السريعة يتم غسيلها العكسي بمعدل حوالى ٠.١ لتر/المتر المربع في الثانية (١٥ جالون في اليوم/ القدم المربع) لمدة حوالى ١٠ دقائق. بعد توقف تدفقات الغسيل العكسي، فإن مادة الوسط الترشيحي تستقر ثانياً في الطبقة وتبدأ دورة الترشيح ثانياً. بالنسبة للخمس دقائق الأولى للترشيح، يتم صرف المياه المرشحة خلال المحبس (E) لتأكيد عدم حمل أى مواد صلبة متبقية مع المياه المرشحة النقية.

مثال :

إذا كان المرشح المصمم في المثال السابق يتم غسيله العكسي مرة في اليوم لمدة ١٢ دقيقة بمعدل ٠.١ لتر/ المتر المربع في الثانية، ما هى نسبة المعدل الكلى للتدفق لاستخدامها في تنظيف المرشح؟

الحل :

حجم المياه المستخدمة للغسيل العكسي كل يوم يمكن حسابه بضرب معدل الغسيل العكسي في مساحة الترشيح وزمن الغسيل العكسي، كالاتى :

٠.١ لتر/المتر المربع في الثانية \times ٢٥ متر مربع \times ١٢ دقيقة \times ٦٠ ثانية = ١٨٠ متر مكعب.

إجمالى التدفق اليومي يعطى ٦ مليون لتر = ٦٠٠٠ متر مكعب.

نسبة الماء المستخدم في الغسيل العكسي لذلك ستكون

$$180 \times 6000 \times 100 = 3\%$$

هذه النسبة من المياه المستخدمة في الغسيل العكسي هي تقريبا النموذجي لمعظم محطات معالجة المياه.

في السنين الأخيرة، ظهر نوع من الترشيح يسمى الترشيح بالمعدل المتناقص (Declining Rate Filtration) حيث استخدم في بعض محطات معالجة المياه. في هذا الشكل من التشغيل، لا يتم استخدام أجهزة التحكم في معدل التدفق. يسمح بمعدل الترشيح للانخفاض بالتدريج من أقصى قيمة عند بدء دورة الترشيح إلى أدنى قيمة عند انسداد الطبقة. مع انسداد طبقة الوسط الترشيحي بالمواد الصلبة المتراكمة، فإن منسوب المياه يرتفع بالتدريج في صندوق المرشح. عند وصول منسوب المياه إلى ارتفاع سبق تحديده، يتم الغسيل العكسي للمرشح آليا.

كلا من الترشيح بالمعدل المتناقص أو الترشيح بالمعدل الثابت ينتج مياه ذات نوعية ممتازة. نوعية المياه عالية النقاء من المرشحات السريعة ذات التصميم والتشغيل الجيد تكون مستوى العكارة فيها عادة هو ٠,٢ وحدة نيفيلومترى (0.2 NTU).

أنواع أخرى من المرشحات :

المرشح السريع الذى يعمل بالجاذبية هو المرشح العادى المستخدم فى معالجة إمدادات المياه، ذلك لأنه يعتمد عليه إلى حد كبير. أنواع أخرى من المرشحات المستخدمة أحيانا لتنقية المياه تشمل مرشح الضغط، مرشح الوسط الدياتومى (Diatomaceous Earth Filter) مرشح الضغط يشبه إلى حد كبير المرشح السريع التقليدى فى أن المياه تتدفق خلال طبقة ترشيح حبيبية. ولكن بدلا من أن يكون مفتوحا إلى الجو ومستخدماً قوة الجاذبية، فإن مرشح الضغط يكون مغلقا فى شكل خزان صلب أسطوانى وتضخ المياه خلال الوسط الترشيحي تحت الضغط. نظرا لأنه يعمل تحت الضغط، فإنه يوجد احتمال تسرب المواد الصلبة خلال الوسط الترشيحي فى المياه المرشحة. حيث أنها لا يعتمد عليها كما فى حالة المرشحات السريعة فإنها نادرا ما تستخدم فى إمدادات مياه الشرب المنزلية، فهي تستخدم غالبا لترشيح المياه فى الاستخدامات الصناعية أو فى حمامات السباحة.

مرشحات الوسط الدياتومى تستخدم كذلك أساسا للاستخدام الصناعى وفى حمامات السباحة. مثل مرشحات الضغط، الاعتماد عليها أقل من المرشحات السريعة أو

المرشحات ذات الوسط الترشيحي المختلط. الوسط الترشيحي فى هذا النوع من المرشحات هو طبقة رقيقة من الدياتوم وهو مادة طبيعية فى شكل مسحوق تتكون من صدف الكائنات الحية الدقيقة المسماة دياتومز (Diatoms). يتم حمل مادة دياتوم التربة هذه على مصفاة معدنية أسطوانية أو من النسيج المسمى (Septum). مرشح دياتوم التربة يتكون من العديد من هذه السببتا (septa) الصغيرة (أى الحاجز أو الفاصل الصغير).

٥- التطهير : Disinfection

العمليات التى تم تناولها سابقاً كالترويب والترسيب والترشيح تكون معاً نوعاً من المعالجة يسمى الترويق (Clarification). الترويق يزيل كثيراً من الكائنات الحية الصغيرة من الماء جنباً إلى جنب مع المواد الصلبة العالقة. ولكن الترويق نفسه ليس كافياً لتأكيد الإزالة التامة للبكتريا الممرضة والفيروسات. مياه الشرب يجب أن تكون أكثر نقاءً من البلور. يجب أن تكون خالية تماماً من الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض. لعمل ذلك، فإن عملية المعالجة النهائية فى معالجة المياه هى التطهير، والذى يبيد أو يوقف نشاط الكائنات الدقيقة الممرضة.

الكلورة : (Chlorination)

الكلورة هو المادة الأكثر استخداماً للتطهير، إضافة الكلور ومركبات الكلور إلى الماء يسمى الكلورة. تعتبر الكلورة العملية الهامة جداً لمنع انتشار الأمراض التى يحملها الماء. الكلور الجزيئى (Cl_2)، عبارة عن غاز أصفر مخضر عند درجة حرارة الغرفة والضغط الجوى. فى الشكل الغازى يكون شديد السمية، حتى فى التركيزات المنخفضة فإنه شديد التهيج. ولكن عند إذابة الكلور فى تركيزات منخفضة فى الماء النقى يكون غير ضار، وفى حالة استخدامه بطريقة صحيحة فإن المذاق والرائحة الذى يسببها الكلور رغم أنهما غير مقبولين إلا أنه لا يتم ملاحظتهما للإنسان العادى. رغم أن الكلور مؤثر فى قتل الكائنات الممرضة ومنع انتشار الأمراض الوبائية، فإنه من المحتمل حدوث مشاكل صحية غير معدية بطريقة غير مباشرة بسبب عملية الكلورة. المياه الطبيعية عادة تحتوى كميات قليلة من المركبات العضوية، أساساً من المصادر الطبيعية مثل النباتات التى تحللت. هذه المواد يمكن أن تتفاعل مع الكلور لتكون مركبات تسمى التراى هالو ميثان (THM'S)، وهذه يمكن أن تسبب مرض السرطان، الكلورفورم هو مثال لمركبات التراى هالو ميثان.

لقد أوصت الوكالة الدولية لحماية البيئة بالمعايير التي تحد بأقصى تركيز للتراى هالو ميثان فى مياه الشرب. أحد هذه هو منع تكون التراى هالو ميثان من خلال التأكد من إضافة الكلور فقط بعد الترويق وإزالة معظم المواد العضوية. كذلك الطريقة البديلة للتطهير بالكلور من خلال عدم استخدام الكلور وهذه الطرق سيتم مناقشتها.

كيمياء الكلورة :

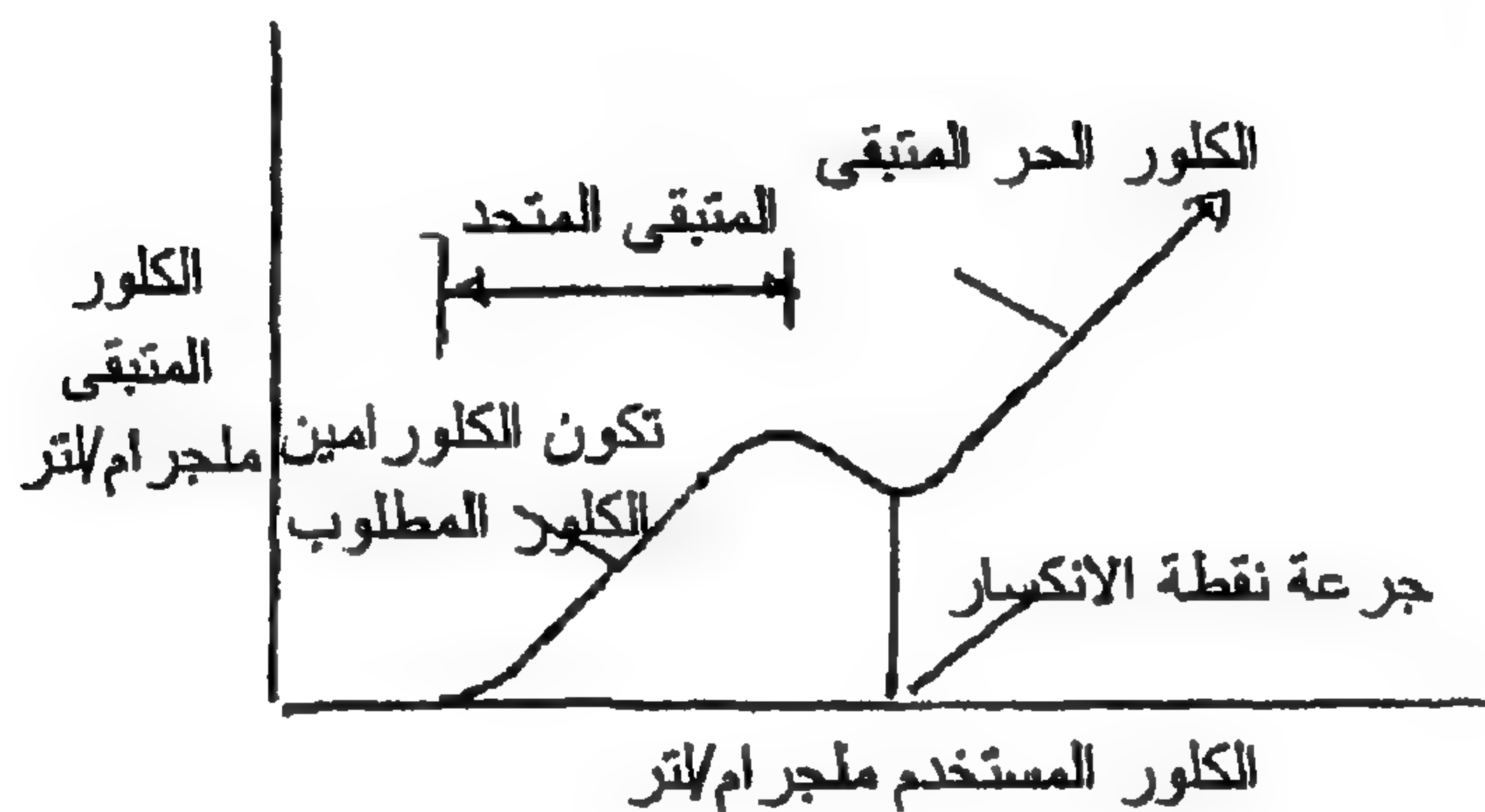
عند إذابة الكلور فى الماء النقى، فإنه يتفاعل مع أيونات (H^+) وأيونات (OH^-) فى الماء. اثنين من نواتج هذا التفاعل هما حامض الهيبوكلورس ($HOCl$)، أيون الهيبوكلوريت (OCl^-). وهذه هى عوامل التطهير الحقيقية. فى حالة وجود الكائنات الحية الدقيقة فى الماء، فإن كلا من ($HOCl$)، (OCl^-) يخترق خلايا الميكروبات ويتفاعل مع أنزيمات معينة. هذا التفاعل يحدث اضطراباً فى الأداء الأحيائى للميكروبات ويقتلها.

حامض الهيبوكلورس يعتبر مطهراً أكثر تأثيراً من أيون الهيبوكلوريت ذلك لأنه ينتشر أسرع خلال جدار الميكروب. التركيزات النسبية لكل من ($HOCl$)، (OCl^-) تتوقف على الرقم الهيدروجينى للماء. عموماً، كلما انخفض الرقم الهيدروجينى للماء كلما كانت الكلور ذات تأثير أكبر وبالتالي عملية التطهير.

عند إضافة الكلور أولاً إلى المياه المحتوية على بعض الملوثات، فإن الكلور يتفاعل فوراً مع المواد المذابة العضوية أو الغير عضوية ويصبح عندئذ غير متاح للقيام بعملية التطهير. كمية الكلور المستخدم فى هذا التفاعل الأولى تسمى مطالب الماء من الكلور ($Chlorine Demand of Water$). فى حالة وجود الأمونيا المذابة (NH_3) فى الماء فإن الكلور يتفاعل معها ليكون مركبات الكلورامين. فقط بعد مطالب الكلور وبعد تمام التفاعل مع كل الأمونيا المذابة يكون فقط الكلور المتاح فى شكل ($HOCl$) أو (OCl^-).

الكلور فى شكل ($HOCl$)، (OCl^-) يسمى الكلور الحر المتاح، بينما الكلورامين يسمى الكلور المتحد ($Combined Chlorine$). الكلور الحر هو عادة الشكل المفضل لتطهير مياه الشرب. فهو يعمل أسرع عن الكلور المتحد، كما أنه لا يسبب مذاقاً أو رائحة منفرة. الكلور المتحد مؤثر كذلك كمطهر، ولكن أداؤه أبطأ ويمكن أن يسبب الرائحة التقليدية لحمامات السباحة للمياه المكلورة. فائدته هو أنه يستمر لمدة أطول ويمكن أن يحافظ على الحماية الصحية خلال شبكة التوزيع.

أحيانا تستخدم وتسمى عملية كلورة نقطة الانكسار (Break Point Chlorination) لتأكيد وجود الكلور الحر في إمدادات مياه الشرب. لعمل ذلك، يكون من الضروري إضافة كلور كافى فى الماء بما يكفى لمطالب الكلور وللتفاعل مع كل الأمونيا المذابة فى الماء. عند حدوث ذلك، فإنه يقال أنه تم الوصول إلى نقطة انكسار الكلور. الكلور المضاف أعلى من نقطة الانكسار يكون متاحا فى شكل الكلور الحر المتبقى بنسبة مباشرة إلى كمية الكلور المضاف. هذا موضح فى الشكل (٣/١٧). الكلور المطلوب وجرعة نقطة الانكسار يختلفان، طبقاً لنوع المياه. أحيانا، يكون المطلوب جرعات من الكلور حتى ١٠ ملجرام/لتر للحصول على الكلور الحر المتبقى بنسبة ٠,٥ ملجرام/لتر.



شكل (٣/١٧) منحنى نقطة انكسار الكلورة

طرق الكلورة : (Chlorination Methods)

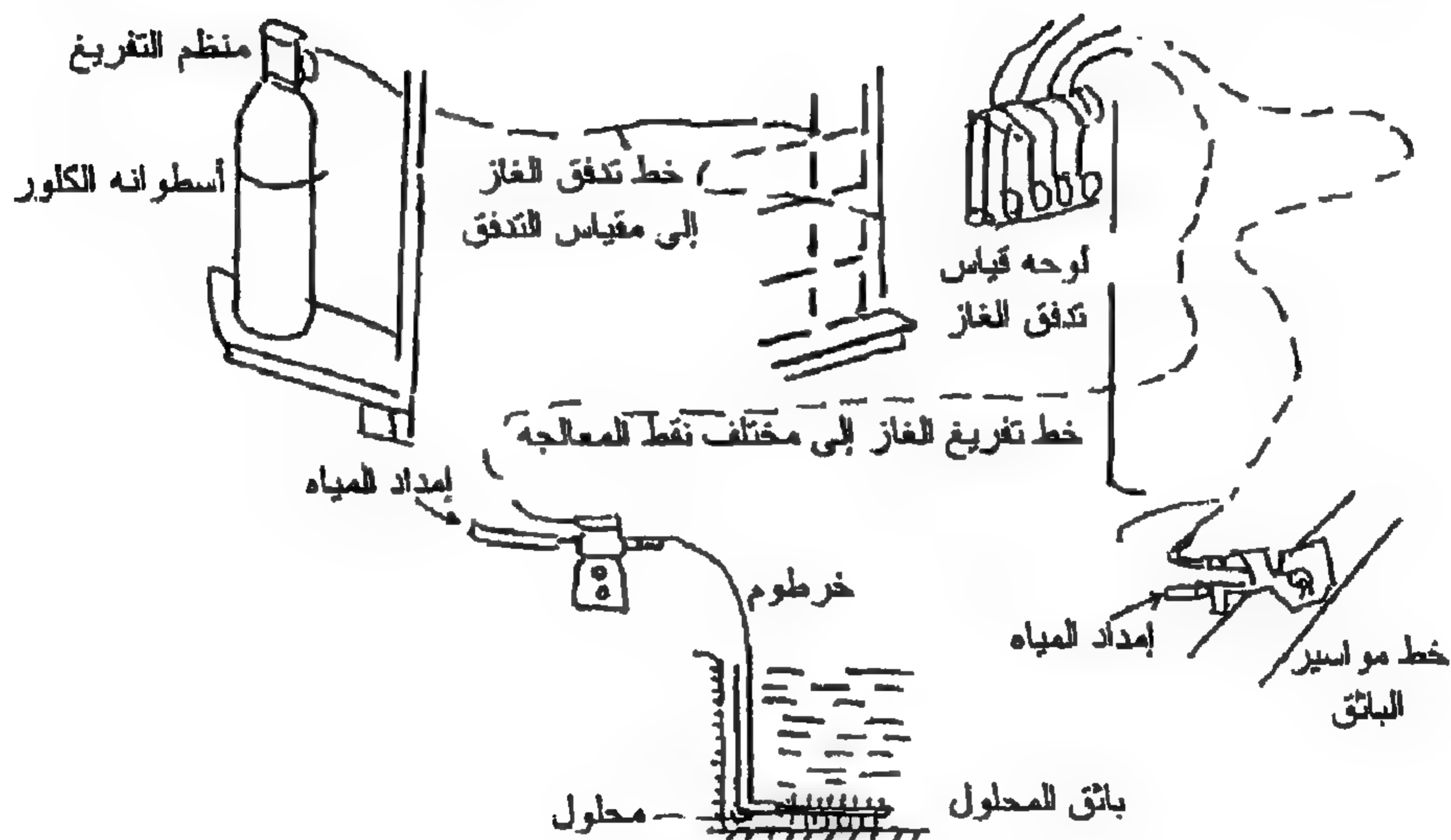
الكلور يتوفر تجارياً فى شكل غاز الكلور أو فى شكل مادة صلبة أو سائلة تسمى مركبات الهيبوكلوريتس. لتطهير أحجام ضخمة نسبياً من الماء فإن استخدام الكلور الغاز يعتبر اقتصادياً ولكن بالنسبة للأحجام الصغيرة من الماء فإن الشائع هو استخدام مركبات الهيبوكلوريتس (Hypochlorites).

غاز الكلور يتم تعبئته و نقله فى أسطوانات من الصلب للغاز المضغوط. عند الضغط فإن الكلور يكون فى الشكل السائل فى الاسطوانة، وعند تحرره من الاسطوانة فإنه يتبخر إلى الغاز. تتراوح طاقة الاسطوانة ما بين ٤٥ كيلو جرام (١٠٠ رطل) إلى حوالى ١٠٠٠ كيلوجرام (١ طن). محطات معالجة المياه أو مياه الصرف الضخمة قد تستخدم خزانات محمولة على عربات القطار المملوءة بالكلور.

الفصل الثالث

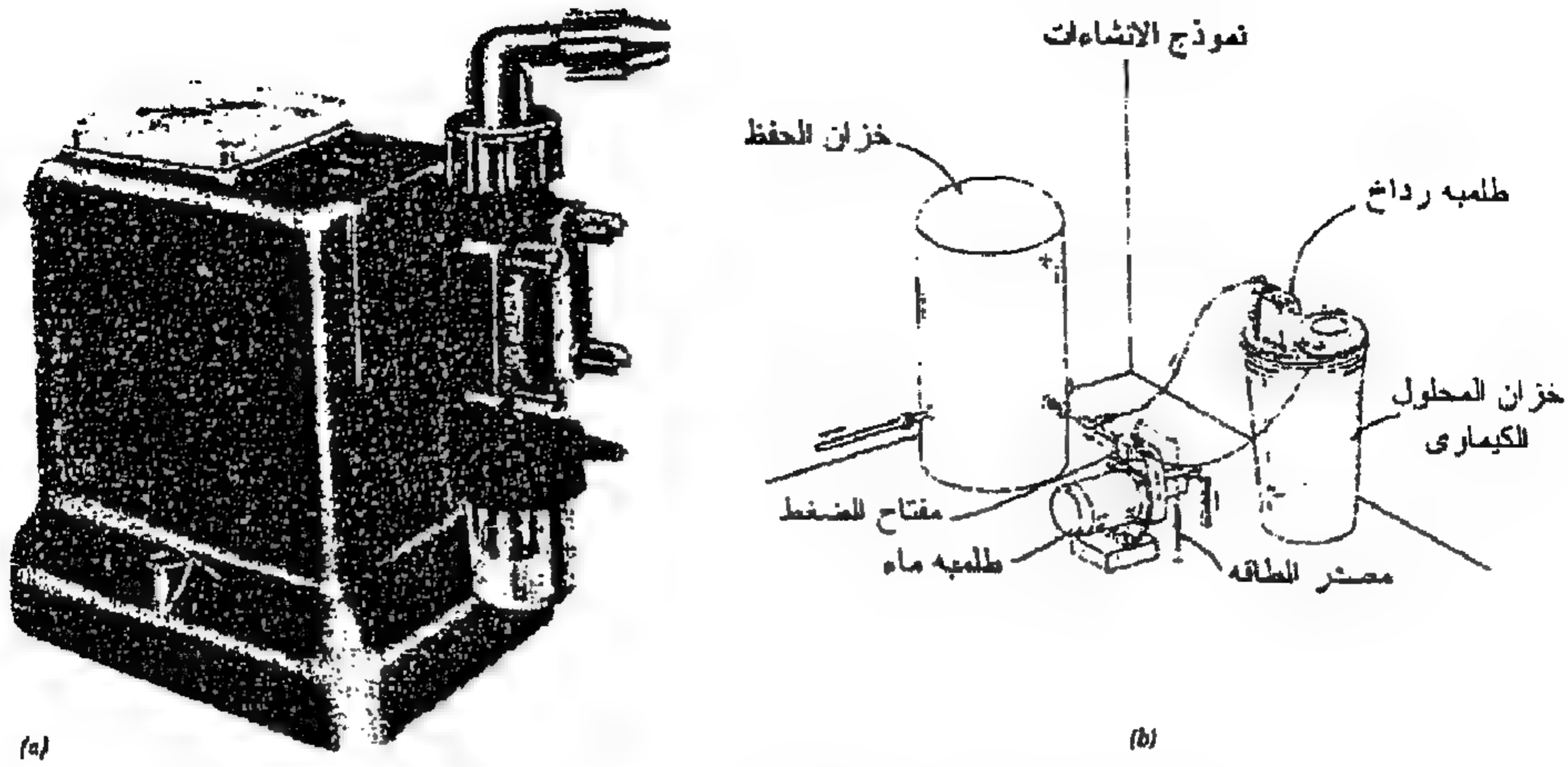
التجهيزة المناسبة للتغذية بالكلور تسمى جهاز الكلورة بالتفريغ (All Vacuum Chlorinator) وهي أنسب تجهيزة للتغذية الآمنة بالكلور. وهذه التجهيزة تحمل مباشرة فوق اسطوانة الكلور. الكلور الغاز يكون دائما تحت تفريغ جزئي في الخط الذي يحمله إلى نقطة الاستخدام، تسرب الكلور لا يمكن أن يحدث في هذا الخط.

نموذج للتغذية بالكلور تحت التفريغ موضح في الشكل (٣/١٨). يتكون التفريغ بتدفق المياه خلال وحدة البثق (Ejector Unit) عند سرعة عالية. توجد أنواع أخرى من أجهزة التغذية بالكلور بعض منها حيث الكلور أو محاليل الكلور عالية التركيز يتم إرساله مسافات طويلة نسبياً تحت الضغط. وهذه تمثل مخاطر تسرب الكلور إلى حد ما. في أي منشأة للتغذية بالكلور تكون عوامل الأمان شديدة الأهمية بسبب سمية الغاز.



شكل (٣/١٨) نموذج لنظام تغذية الكلور بالتفريغ. توجد مخاطر قليلة من تسرب غاز الكلور ذلك لأن خط التغذية بالكلور عند ضغط أقل من الضغط الجوي

عادة تستخدم الهيبوكلوريتس مع الماء في الشكل السائل بواسطة مضخات صغيرة، مثل تلك الموضحة في الشكل (٣/١٩).



شكل (٣/١٩) (a) نموذج لجهاز التغذية بالهيبوكلوريت أو ظلمبة قياس المحلول.

(b) نموذج لإنشاءات الكلورة بالهيبوكلوريت.

يوجد نوع من الطلمبات موجبة الإزاحة، والتي تدفع كمية معينة من السائل في كل شوط للمكبس أو الغشاء المرن.

يوجد نوعين من مركبات الهيبوكلوريتس للتطهير، هما هيبوكلوريت الصوديوم وهيبوكلوريت الكالسيوم. هيبوكلوريت الصوديوم متاح فقط في الشكل السائل ويحتوي على حتى ١٥% من الكلور المتاح. وهو عادة يتم تخفيفه بالماء قبل استخدامه كمطهر. (عادة سائل تبييض الغسيل هو محلول بتركيز ٥% من هيبوكلوريت الصوديوم). هيبوكلوريت الكالسيوم هو مركب جاف، يتوفر في الشكل الحبيبي. وهو سريع الذوبان في الماء. محاليل هيبوكلوريت الكالسيوم أكثر ثباتاً من محاليل هيبوكلوريت الصوديوم والذي يتلف مع مرور الوقت.

بالإضافة إلى الرقم الهيدروجيني (pH)، فإن تأثير الكلور ومركبات الكلور في القضاء على البكتيريا يتوقف على تركيز الكلور وزمن الالتصاق (Contact time). زمن الالتصاق هو الفترة الزمنية التي يعمل خلالها الكلور الحر أو المتحد على الكائنات الحية الدقيقة. عند رقم هيدروجيني قريباً من ٧ (حالات التعادل)، فإن الكلور الحر المتبقى بتركيز ٠,٢ ملجرام/لتر مع زمن التصاق قدره عشر دقائق له تقريباً نفس قدرة التطهير مثل الكلور المتحد المتبقى بتركيز ١,٥ ملجرام/لتر مع زمن التصاق قدره ساعة واحدة. يمكن تعيين تأثير الكلورة باختبار الكوليفورم، أو بواسطة اختبار مناسب للكلور المتبقى في المياه المعالجة. الطريقة المناسبة لاختبار الكلور المتبقى تسمى (DPD)، (Chlorine Residual)

(Test). شنت اختبار ميدانية متاحة. طريقة الاختبار المبنية على مقارنة اللون، تستغرق خمس دقائق فقط.

في اختبار (DPD) يتم إضافة صبغة كيميائية لعينة الماء. الصبغة تتحول إلى اللون الأحمر في حالة وجود كلور متبقى، وتتناسب شدة اللون الأحمر مع تركيز الكلور. يفترض أن وجود الكلور المتبقى يؤكد أنه لا توجد كائنات حية دقيقة تعيش في الماء. يمكن قياس إما المتبقى الكلي أو المتبقى الحر أو المتبقى المتحد باستخدام شنت اختبار (DPD).

من الضروري عادة حساب الوزن الكلي للكلور المستخدم في محطة المعالجة ليتمكن القدرة على تنظيم الإمداد بالكلور في الوقت المناسب. كذلك يمكن أن يكون من الضرورة تعيين جرعة الكلور المستخدم أو التركيز في حالة معرفة الوزن المستهلك. العلاقات الآتية مفيدة في هذه الأغراض :

$$\text{Kg/d} = Q \times C$$

حيث : Q = معدل التدفق مليون لتر في اليوم.

C = تركيز الكلور ملجرام/لتر.

$$1b/d = 8.34 \times Q \times C \text{ أو}$$

حيث : Q = معدل التدفق مليون جالون في اليوم.

C = تركيز الكلور ملجرام/لتر.

$$8.34 = \text{رطل/جالون من الماء.}$$

مثال :

كم عدد الأرتال من الكلور في اليوم تلزم لتطهير تدفق ٧,٥ مليون جالون في اليوم بجرعة كلور ٠,٥ ملجرام/لتر؟

كم عدد أسطوانات الكلور سعت ١٠٠ رطل مطلوباً في الشهر.

الحل :

$$1b/s = 8.34 \times Q \times C$$

$$31 \text{ Ib/d} = 1 \text{ b/d} = 8.34 \times 7.5 \times 0.5 \therefore$$

$$9.4 \text{ Cylinder} = 31 \text{ Ib/d} \times 30 \text{ d} \div 100 \text{ Ib} \text{ و}$$

أى لا يقل عن ١٠ أسطوانة كلور شهرياً.

مثال :

يستخدم إجمالى ١٥ كيلوجرام من الكلور يومياً لتطهير حجم من الماء يساوى ٥٠ مليون لتر. ما هى جرعة الكلور؟

الحل :

$$\text{Kg/d} = Q \times C \text{ باستخدام المعادلة}$$

$$15 \text{ kg/d} = 50 \text{ ML/ D} \times C \therefore$$

$$\therefore C = 150 \div 50 = 3 \text{ ملجرام/ لتر.}$$

طرق أخرى للتطهير :

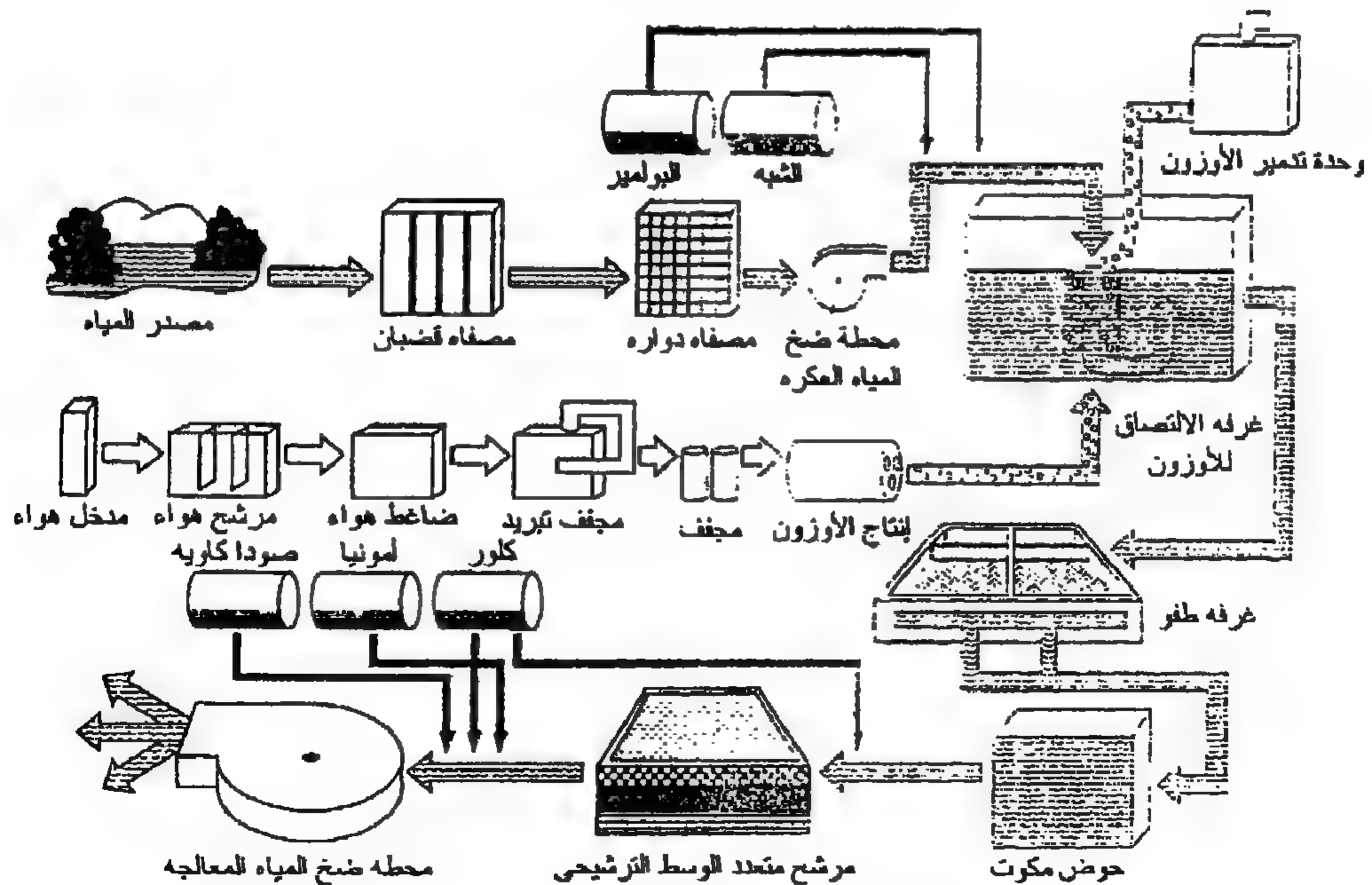
الكلورة هى الطريقة الأكثر استخداماً لتطهير إمدادات المياه للشرب ذلك بسبب اقتصادياتها وقدرتها على توفير المتبقى لاستمرار الحماية. زاد الاهتمام بطرق أخرى للتطهير فى السنين الأخيرة أساساً بسبب مشاكل تكون التراى هالوميثان وتأثيره على الصحة العامة.

الأوزون (Ozone)

الأوزون (O_3) غاز عالى النشاط عند درجة الحرارة العادية والضغط العادى كما أنه يعمل كمؤكسد ومطهر قوى عند خلطه بالماء. لقد استخدم الأوزون لأكثر من ٩٠ عاماً فى الدول الأوروبية كبديل للكلور، الذى أحياناً يترك رائحة ومذاقاً ملحوظاً فى مياه الشرب. يمكن إنتاج الأوزون بتمرير تيار كهربى عالى الفولتية خلال الهواء أو الأكسجين، ولكن نظراً لأنه غير مستقر ولا يمكن تخزينه، فإنه يلزم تصنيعه فى الموقع، حيث يتم استخدامه. ونظراً لأنه لا يترك متبقى يمكن قياسه فى الماء بعد فترة الالتصاق الأولى، فإن قليلاً من الكلور يجب استخدامه لتأكيد استمرار التطهير مع تدفق المياه خلال شبكة التوزيع.

بالإضافة إلى قدرة الأوزون على العمل كمطهر بدون أن يسبب مشاكل للرائحة والمذاق، فإنه لا يتفاعل ليكون مركبات التري هالوميثان وكذلك فإن الأوزون مطهر أقوى من الكلور ويمكنه تثبيت نشاط معظم الفيروسات بالإضافة إلى البكتيريا. كما يمكنه المساعدة كمروبو عند استخدامه مع الشبه وبذا يقلل من كمية الكيماويات اللازمة للضبط النهائي للرقم الهيدروجيني للماء ليكون غير عدواني. بسبب أنه يساعد كثيراً في عملية الترويب، فإن الأوزون يمكن كذلك أن يسهل عملية الترشيح المباشر مع عدم الحاجة إلى أحواض الترسيب الكبيرة.

بالرغم من هذه المميزات فإن التكاليف العالية لإنتاج واستخدام الأوزون مقارنة بتلك للكلور قد قللت من انتشار استخدام الأوزون كمطهر. ولكن توجد استثناءات لهذا، فمثلاً يستخدم الأوزون في محطة معالجة لوس أنجلوس بطاقة ٥٠٠ مليون جالون في اليوم. كما يستخدم في ترويق وتطهير محطة معالجة بطاقة ١٥٠ مليون جالون في اليوم في هاورث (Haworth)، في نيو جيرسي، كلا هاتين المحطتين تستخدم كذلك الترشيح المباشر. المخطط الذي يوضح الخطوات الرئيسية للمعالجة موضح في الشكل (٣/٢٠).



شكل (٣/٢٠) مخطط لعملية التطهير بالأوزون

الأوزون يعتبر مطهراً له تأثير أقوى من الكلور وهو يستخدم لمنع انتشار الأمراض الوبائية، مراحل استخدام الأوزون كمطهر يمكن توضيحها في دراسة الحالة الآتية في محطة معالجة المياه في (Milwaukee Wisconsin)

الخطوة رقم (١) :

يتم سحب المياه من خزان المياه الخام إلى عملية المعالجة بواسطة طلمبات المأخذ. مع دخول المياه المحطة، فإن مصافي القضبان تزيل الأجسام الكبيرة، ويتم إضافة كميات صغيرة من المرويات الكيماوية للمساعدة في إزالة الأجسام الصغيرة وتنقية المياه.

الخطوة رقم (٢) :

يتم أولاً ترشيح الهواء الخارجى الذى سيتم إنتاج الأوزون منه ثم تبريده وتجفيفه.

الخطوة رقم (٣) :

الهواء المعالج يمر فوق كثير من الأنابيب الزجاجية كل منها مجهز (Fused) بشعيرة كهربية، ومضة مثل الشحنة الكهربائية تنقل الأكسجين في الهواء إلى خليط من الأوزون والأكسجين.

الخطوة رقم (٤) :

في غرفة التصاق الأوزون، فقاعات الأوزون الصغيرة تتحرك إلى أعلى مع تدفق المياه إلى أسفل في اتجاه معاكس. الفقاعات المرتفعة تساعد في خلط المرويات والماء، تحمل الجسيمات الصغيرة إلى أعلى، وتدمير البكتريا والفيروسات. أى أوزون متبقى يتحول ثانياً إلى الأكسجين بواسطة محول (Catalytic Converter) فى وحدة تدمير الأوزون.

الخطوة رقم (٥) :

المياه المعالجة بالأوزون تتدفق إلى غرفة الطفو، حيث الكاشكات تزيل المواد الطافية.

الخطوة رقم (٦) :

المياه التى تم كشطها تتدفق إلى أحواض المكبس، حيث يحدث ترسيب إضافي للجسيمات العالقة.

الخطوة رقم (٧) :

تتدفق المياه بالجاذبية إلى أسفل خلال مرشحات مزدوجة الوسط الترشيحي الحبيبي.

الخطوة رقم (٨) :

يتم إضافة كميات صغيرة من الكلور لتأكيد استمرار التطهير في شبكة التوزيع، وتضاف كيماويات أخرى لمعالجة التآكل وكذلك الحالات المثيلة لإذابة الرصاص (الموجود في السباكة المنزلية) في الماء.

الخطوة رقم (٩) :

طلبات كهربية ضخمة تدفع المياه المعالجة إلى شبكة التوزيع.

الإشعاعات فوق البنفسجية (Ultraviolet Radiation)

يمكن استخدام ضوء الأشعة فوق البنفسجية في التطهير، ضوء الأشعة فوق البنفسجية عبارة عن إشعاع كهرومغناطيسي فوق نهاية الطيف الضوئي مباشرة، خارج مجال الضوء المرئي. له طاقة أعلى من الضوء المرئي، وفي جرعات عالية يدمر البكتيريا والفيروسات. الطاقة فوق بنفسجية يتم امتصاصها بواسطة المادة الوراثية (Genetic) في الكائنات الحية الدقيقة، حيث تتداخل وتعيق قدرتها على التكاثر والحياة. يتم إنتاج الضوء فوق بنفسجي بالعديد من المصابيح، المغمورة، لمبات الزئبق ذات الضغط المنخفض هي الأفضل والأكثر ملاءمة للاستخدام في نظم التطهير ذلك لأنها نتيجة جزء كبير من الطاقة فوق بنفسجية التي يتم امتصاصها.

نظم التطهير بالأشعة فوق البنفسجية لا تتضمن تداول الكيماويات كما في حالة نظم الكلور والأوزون، لذا تقل الاحتياطات المتعلقة بالكيماويات. مثل الأوزون فإن الإشعاعات فوق بنفسجية لا تترك أي متبقى في الماء. التقدم في تكنولوجيا مصباح الإشعاع فوق بنفسجي المبيد للميكروبات جعلت استخدام الأشعة فوق بنفسجية في التطهير طريقة اقتصادية ويعتمد عليها.

٦ - عمليات المعالجة الأخرى :

الترويق بالمرويات والترسيب والترشيح يزيل المواد الصلبة العالقة والملوثات والعكارة من مياه الشرب. الخطوة الأخيرة للتطهير تنتج مياه الشرب، الخالية من الكائنات الدقيقة الممرضة ولكن عمليات معالجة أخرى يمكن أن تكون مطلوبة وخاصة لإزالة

بعض من المواد المذابة. هذه الطرق يمكن استخدامها بالإضافة إلى الترويق أو منفردة طبقاً لمصدر ونوعية المياه الخام.

فمثلاً، المياه الجوفية لا تتطلب الترويق ذلك لأنها مرشحة طبيعياً خلال طبقات التربة التي سحبت منها، تطهير إمدادات المياه الجوفية هو أساساً خطوة احتياطية حيث أن هذه المياه خالية طبيعياً من الكائنات الممرضة وإن كان يلزم حقن جرعة من مطهر الكلور قبل ضخها في شبكة التوزيع.

وبسبب التصاق المياه الجوفية مع التربة والصخور، فإن المياه الجوفية يمكن أن تحتوى على مستويات مرتفعة من الأملاح المذابة التي يلزم إزالتها. ولذلك سيتم تناول طرق إزالة هذه المواد سواء في المياه السطحية أو الجوفية.

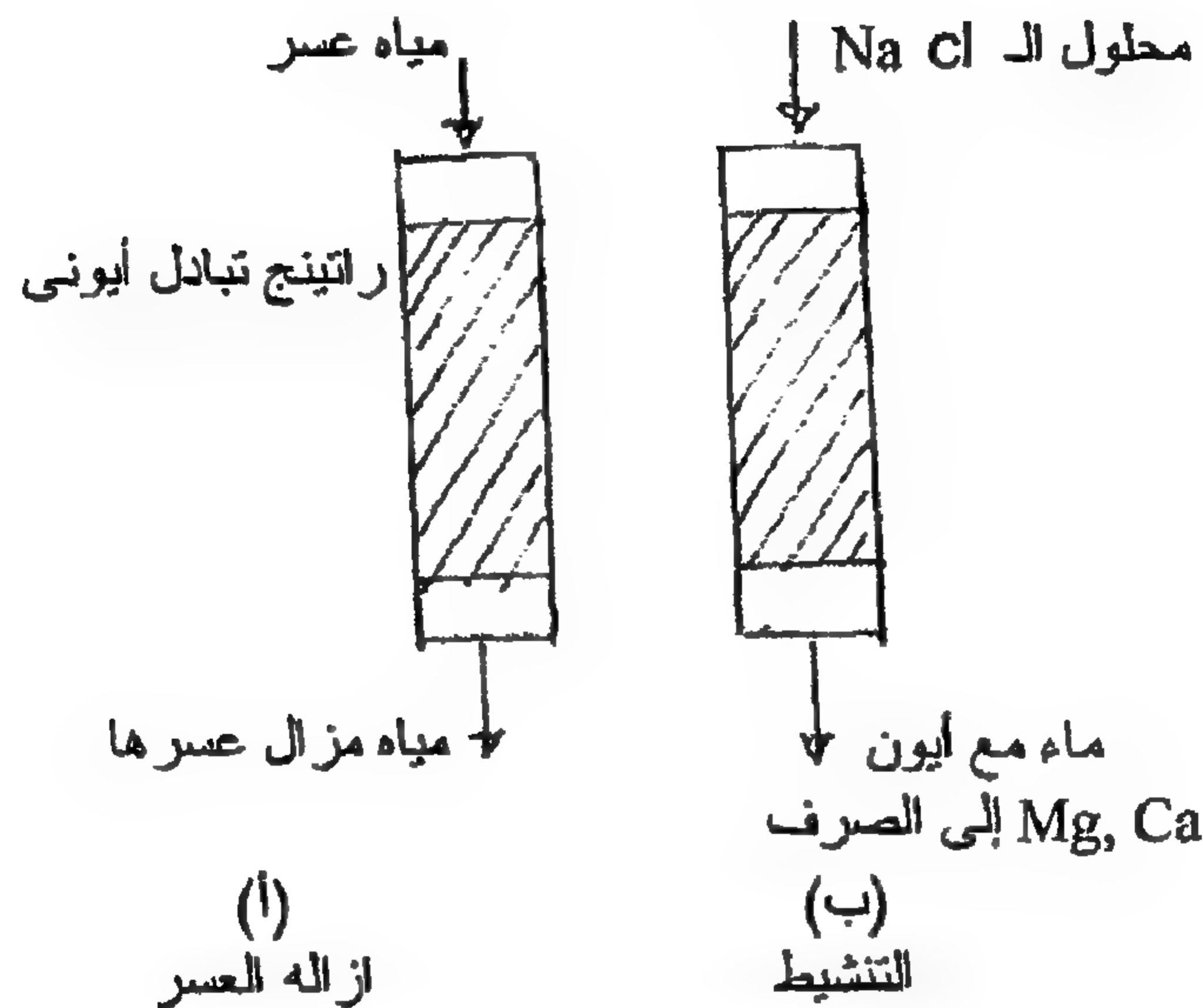
إزالة عسر المياه (Water Softening)

المياه التي تحتوى على أملاح مذابة لمركبات الكالسيوم والمغنسيوم تعرف بأنها مياه عسر. عسر المياه يتداخل مع وجود الرغوة في الصابون وكذلك يسبب ترسيبات قشرية في سخانات المياه، المواسير، ومهمات السباكة. وهذه أساساً مشكلة اقتصادية وكذلك متعلقة بقبالية المياه للشرب واستساغتها أكثر منها مشكلة متعلقة بالصحة العامة. عموماً عند زيادة العسر عن ٥٠٠ ملجرام/ لتر في المياه الخام فإنه يفضل إزالة الكالسيوم والمغنسيوم في محطة المعالجة المركزية. عملية إزالة هذه المواد تسمى (Water Softening) الطريقتان المستخدمتان لإزالة العسر هما طريقة الجير الصودا (Lime-soda Method) وطريقة التبادل الأيوني (Ion Exchange Method).

في طريقة الجير الصودا، يتم إضافة مادتين كيماويتين إلى الماء لإحداث ما يسمى بتفاعل الترسيب. هذه الكيماويات هي الجير المطفئ Ca(OH)_2 ، الصودا آمن Na_2CO_3 . يحدث تفاعل بين هذه الكيماويات وأيونات الكالسيوم والمغنسيوم المذابة في الماء، بما يسبب تكون كربونات الكالسيوم (CaCO_3) ، وأيدروكسيد المغنسيوم (Mg(OH)_2) وكلاهما غير مذاب في الماء.

نظراً لأنهما لا يذوبان في الماء فإن مركبات كربونات الكالسيوم وأيدروكسيد المغنسيوم يرسبان خارج المحلول. لذلك فإن العملية يليها بعد ذلك الترسيب والترشيح لإزالة الرواسب الغير مذابة وترويق الماء. كذلك يمكن إضافة ثاني أكسيد الكربون (CO_2) إلى الماء لترسيب زيادة من الكالسيوم ولضبط الرقم الهيدروجيني الذي يرتفع بسبب إضافة الجير المطفئ Ca(OH)_2 ، وهذه العملية تسمى إعادة الكربنة (Recarbonation).

يشمل إزالة العسر بالتبادل الأيوني مرور المياه خلال عامود يحتوى على مادة تبادل أيوني خاصة. تستخدم أنواع مختلفة من مواد التبادل الأيوني، بما فيها المواد الطبيعية التى تسمى الزيوليت (Zeolites) والراتنجات المخلقة. عند التصاق المياه المحتوية على أيونات الكالسيوم والمغنسيوم مع هذه المواد يحدث تبادل للأيونات. حيث تؤخذ أيونات الكالسيوم والمغنسيوم بواسطة الراتنج، بينما أيونات الصوديوم (Na^+) تنطلق فى الماء. مخطط لعملية التبادل الأيوني موضح فى الشكل (٣/٢١).



شكل (٣/٢١) عامود لتبادل الأيوني لإزالة العسر (أ)
التنشيط وإعادة الاستخدام (ب)

يحدث إستنفاد لطاقة التبادل الأيوني للزيوليت أو الراتنج حيث يلزم إعادة تنشيط المبادلات لاستمرار استخدامها. يتم ذلك بغسيل المبادل الأيوني بكوريد الصوديوم فى شكل محلول. أيونات الصوديوم تحل محل أيونات الكالسيوم والمغنسيوم والتى يتم صرفها والتخلص منها عندئذ يمكن البدء فى عملية إزالة العسر.

إزالة العسر بالتبادل الأيوني تمكن من إنتاج مياه ذات مستوى من العسر يساوى صفر، ولكن ليس هذا مطلوباً فى حالة مياه الشرب. المياه الخالية من العسر يمكن أن تكون عدوانية بما قد يسبب التلف لمعدن المواسير والسباكة. يعتبر مستوى العسر ١٠٠ ملجرام/لتر مناسباً لمياه الشرب. توجد شواهد نحو وجود العسر بمستويات متوسطة فى مياه الشرب حيث يقلل ذلك من أمراض القلب. العامل الآخر الذى يلزم مراعاته هو أن

المياه المزال عسرها من المبادل الأيوني تحتوى على الصوديوم، والذي يمكن أن يكون ضاراً للأشخاص الذين لديهم أمراض القلب. في مثل هذه الحالات فإن المياه المزال عسرها قد لا تكون مناسبة للاستهلاك. أخيراً، يجب ملاحظة أن إزالة العسر بالتبادل الأيوني لا ينتج راسب أو حمأة وهو عموماً أقل في التكلفة مقارنة بإزالة العسر بطريقة الجير الصودا. ولكن بسبب المسببات التي ذكرت، يكون عادة من المفضل استخدام التبادل الأيوني في إمدادات المياه في الصناعة أو للاستخدام في إزالة العسر للوحدات المنزلية المستقلة.

التهوية (Aeration)

عملية المعالجة الطبيعية حيث يتم الخلط الجيد للهواء مع الماء تسمى التهوية. الالتصاق الجيد مع الهواء والأكسجين يمكن أن يحسن نوعية المياه بعدة طرق، فمثلاً، أحد الاستخدامات العادية للتهوية هي التحكم في المذاق والرائحة. الغازات المذابة التي قد تسبب مشاكل المذاق والرائحة مثل كبريتيد الهيدروجين، يتم انتقالها من الماء إلى الهواء أثناء عملية التهوية. هذا الاستخدام يسمى كذلك الكسح أو الغسيل بالهواء (Air Stripping).

تستخدم التهوية كذلك في إزالة الحديد والمنجنيز من الماء، وخاصة من إمدادات المياه الجوفية. أكسجين الهواء الجوى يتفاعل مع الحديد والمنجنيز ليكون راسباً غير مذاب (صداً) عندئذ يكون من الضروري إجراء عمليات الترسيب والترشيح لتزويق المياه. توجد عدة طرق لتهوية المياه. الطريقة التي يتم اختيارها تتوقف أساساً على نوع وتركيز المادة المطلوب إزالتها من الماء وعلى الضغط الراسى المتاح. التهوية باستخدام نافورات الرش توفر مساحة التصاق كبيرة بين المادة والهواء، ولكن يلزم ضغط مرتفع نسبياً ومساحة أكبر. رش الماء في الهواء يمكن أن يتبعه سقوط الماء على مصاطب والتدفق في رقائق دقيقة إلى أسفل خلال مصاطب خرسانية أو معدنية. منشآت المصاطب تحتاج إلى السقوط ثلاثة أمتار على الأقل.

طريقة أخرى عادية للتهوية تستخدم أجهزة التهوية متعددة الصواني (Multiple Tray Aerators) وهذه تتكون من مصفوفة طويلة من الصواني المثقبة أو الفواصل ذات الفتحات الغير متطابقة. يتم دخول المياه من أعلى حيث يتدفق إلى أسفل في طبقات رقيقة أو في رقائق من التدفق. في بعض الحالات، يمكن استخدام مروحة أو هوية لدفع الهواء إلى أعلى خلال مصفوفة الصواني لزيادة زمن الالتصاق مع الهواء.

بالنسبة لأحجام المياه الكبيرة جداً، تكون الطريقة العملية للتهوية هي باستخدام أجهزة التهوية البائقة للهواء (Diffused- Air Aerators). فى هذا النوع من أجهزة التهوية يتم ضخ الهواء باستخدام ضواغط الهواء ذات الطرد المركزى فى حوض الماء. يدخل الهواء إلى الماء عند قاع الحوض خلال فتحات بثق خاصة أو ثقوب مكونة فقاعات هواء التى تصبح جيدة الخلط مع الماء. أجهزة الخلط الميكانيكية تتكون من دافع ضخم الذى يخرق الماء عند السطح تستخدم فى تهوية المياه ومياه الصرف.

الكربون المنشط (Activated Carbon)

الكربون المنشط الذى يتم الحصول عليه من الفحم أو الخشب له خاصيتين أساسيتين بما يجعله مفيد فى تنقية المياه. أولاً، فهو مادة شديدة المسامية وله نسبة عالية ممتازة ما بين المساحة السطحية ووحدة الوزن حتى ١٠٠ فدان للمساحة لكل رطل واحد. ثانياً، سطح الكربون المنشط يجذب ويقتصص كثيراً من الملوثات فى الماء، وخاصة المواد العضوية المذابة. وهذا ما يسمى بالامتصاص والذى هو ظاهرة سطحية.

الامتصاص على الكربون المنشط طريقة مؤثرة لإزالة المواد العضوية المذابة المسببة لمشاكل المذاق والرائحة فى مياه الشرب وهو كذلك مؤثر فى إزالة المواد العضوية التى تتفاعل مع الكلور مكونة مركبات التراى هالو ميثان بعد التطهير.

عندما تصبح أسطح الكربون مغطاة بالملوثات، فإن الكربون يمكن تنظيفه أو تنشيطه بالتسخين عند درجة حرارة مرتفعة فى فرن خاص. المواد العضوية يتم طردها بفعل الحرارة، عندئذ يمكن إعادة استخدام الكربون، ولكن التنشيط فى الموقع، بدلاً من الاستبدال الكامل بكربون جديد، هو فقط اقتصادى لمحطات معالجة المياه الضخمة، الكربون المنشط متاح فى شكل مسحوق دقيق أسود أو فى شكل حبيبات. يمكن خلط مسحوق الكربون مع الماء باستخدام تجهيزة خاصة للتغذية الجافة عند نقطة فى محطة المعالجة التى تسبق عملية الترشيح، حيث تزال من المياه بواسطة المرشحات. حبيبات الكربون المنشط تستخدم أحياناً فى طبقة المرشح نفسها، حيث تجمع ما بين الامتصاص والترشيح فى وحدة المعالجة.

التطوير الحديث فى معالجة المياه هو باستخدام الكربون البيولوجى النشط (Biologically Active Carbon) كوسط ترشيح لإزالة المواد العضوية الزائدة القابلة للتحلل البيولوجى ونواتج تفاعلات التطهير من مياه الشرب المعالجة. فى عملية المعالجة باستخدام الكربون البيولوجى المنشط فإن النبتة الطفيلية التى تعتمد فى غذائها على كائنات

أخرى أو إنتاجها تعيش في مجال حبيبات الفحم وتمارس بناء البروتوبلازم (الأيض) من مواد (Heterophic Bacteria Colonize) مجال حبيبات الفحم و (Metabolize) المواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجي ويتم ذلك في حوض إضافي أو ملامس. بالنسبة لمياه من مصادر معينة الكربون البيولوجي المنشط يمكنه خفض المحتوى من المواد العضوية أكثر من استخدام الكربون المنشط فقط. يكون من الضروري عادة البدء بتحويل المواد العضوية الغير قابلة للتحلل البيولوجي إلى الشكل القابل للتحلل البيولوجي، وذلك باستخدام الأوزون قبل وحدات الكربون البيولوجي المنشط. ملامسات الكربون البيولوجي المنشط عادة تضاف عند نهاية نظام المعالجة وقبل التطهير.

مقاومة التآكل (Corrosion Control)

التآكل أو صدأ المعادن في نظم إمدادات المياه يمكن أن يكون مشكلة خطيرة. نظراً لأن التآكل يشمل انتقال الإلكترونات فإن طرق المقاومة تعني إيقاف تدفق الإلكترونات ما بين الماء والمعدن المعرض للتآكل. أحد طرق ذلك هو بإضافة كيماويات تسمى (Complexing Agents) إلى الماء هذه الكيماويات مثل سيليكات الصوديوم أو فوسفات الصوديوم يتم إضافتها بتركيزات حتى ١ ملجرام/لتر. وهي تتحد كيماوياً مع المعدن لتكوين حازراً الذي يوقف تفاعل التآكل هذه الكيماويات تسمى مثبطات التآكل. ضبط الرقم الهيدروجيني للمياه المعالجة يستخدم كذلك لمنع حدوث التآكل في شبكة التوزيع.

إضافة الفلور (Flouridation)

الفلوريدات مؤثرة في منع تسوس الأسنان، وخاصة بالنسبة للأطفال الصغار. كثير من المجتمعات تضيف الفلوريدات للماء كإجراء حماية للصحة العامة. يتم ذلك بإضافة فلوريد الصوديوم (NaF) أو صوديوم سيليكو فلورايد (Na₂Si F₆) إلى الماء بعد الترشيح. من المهم أن تكون جرعة الفلوريد محكمة حيث أقصى تركيز هو ١ ملجرام/لتر. زيادة التركيز يمكن أن تسبب تغير في لون مينا الأسنان والذي يسمى (Dental Fluorosis).

الإعذاب Desalination

المياه ذات المستويات المرتفعة من الأملاح المذابة غير مناسبة لمعظم الاستخدامات المنزلية والصناعية والزراعية. وهذه تشمل كلا من المياه الخمضاء (Brakish Water) وهي تلك المياه ذات المحتوى من الأملاح المذابة أكثر من ١٠٠٠ ملجرام/لتر، ومياه البحر ذات المحتوى من الأملاح المذابة حوالي ٣٥٠٠٠ ملجرام/لتر. يمكن فصل المياه

العذبة من مياه البحر أو من المياه الخمضاء بعملية تسمى الإغذاب أو التحلية. رغم أن هذه العملية مكلفة إلا أن عملية الإغذاب يمكن أن تكون اقتصادية كبديل لنقل كمية كبيرة من المياه العذبة إلى مسافات بعيدة، التطور في تكنولوجيا التحلية جعلها بديل معالجة مجدى.

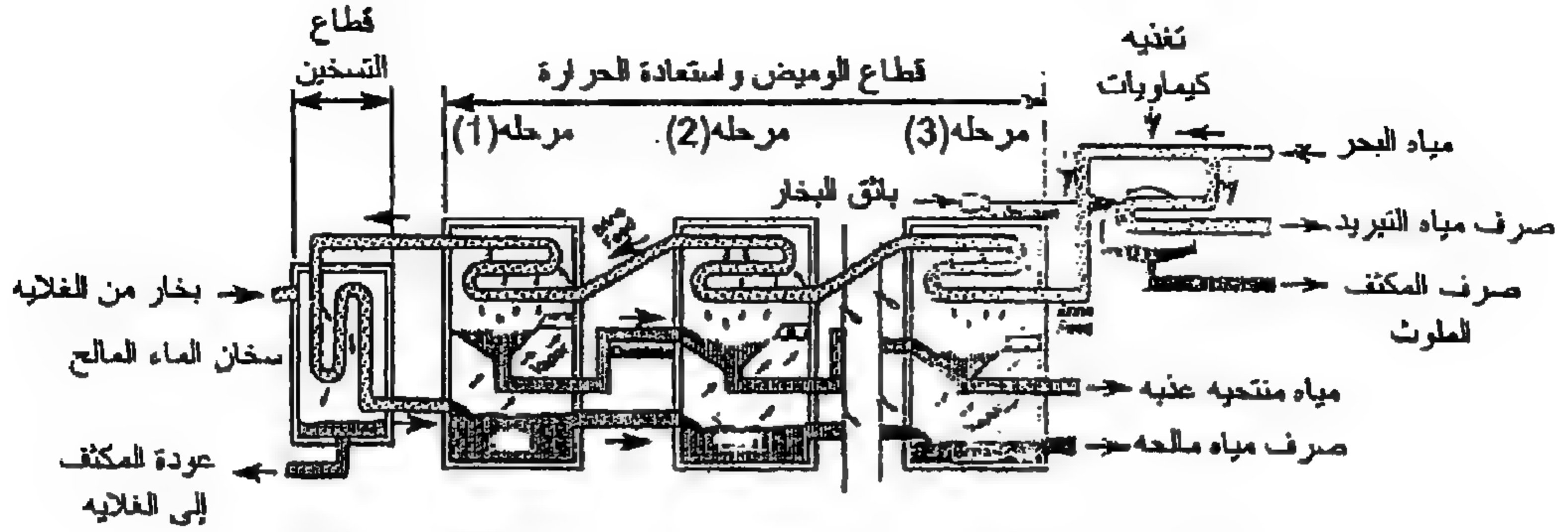
المياه المحلاة حالياً تمتد كثيراً من المناطق في العالم بمياه الاستخدام المنزلى وخاصة في منطقة الشرق الأوسط ومنطقة الكاريبي والشمال الأفريقي والمنساقق الأخرى ذات الكثافة السكانية العالية. أقامت إسرائيل وحدات تحلية في أشدود بطاقة ١٨٠ مليون لتر في اليوم، وهي ستكون أكبر محطة في العالم. تكنولوجيا التحلية للإمدادات المنزلية للمياه تستخدم كذلك في المناطق الساحلية. توجد طريقتان أساسيتان لإغذاب المياه وهما العمليات الحرارية وطرق الغشاء.

الطرق الحرارية تشمل انتقال الحرارة وتغير المجال للماء إما للبخر أو للثلج. طريقة الغشاء تستخدم شرائح رقيقة من مواد خاصة التي تسمح بمرور المياه العذبة وليس الملح كلا من هاتين الطريقتين يتطلب مدخلات ضخمة من الطاقة لعملها.

الطريقة الحرارية الشائعة الاستخدام هي التقطير الوميضى متعدد المراحل (Multistage Flash Distillation) > في التقطير، يتم فصل الماء العذب من الماء المالح بالحرارة، التبخير والتكثيف، التقطير الوميضى متعدد المراحل هو تقنية تسمح بإنتاج كميات ضخمة من المياه المحلاة. وهي تقنية مبنية على حقيقة أن درجة حرارة غليان الماء تنخفض مع انخفاض ضغط الهواء، بما يقلل من كمية الطاقة اللازمة للتبخير، العملية تتم في سلسلة من الأواني المغلقة (المراحل) التي توضع عند ضغط منخفض بالتتالي، يتم توفير الحرارة بالبخر من غلاية، عند دخول المياه المالحة السابق تسخينها الوعاء حيث عند الضغط المنخفض، فإن بعضاً من المياه يغلى بسرعة (الوميض) إلى البخار. البخار يتم تكثيفه إلى مياه عذبة في أنابيب التبادل الحرارى ثم يجمع في صوانى أسفل الأنابيب، الماء المالح المتبقى يتدفق إلى المرحلة التالية، وبذا تستمر العملية، بعض المحطات يمكن أن تكون حتى ٤٠ مرحلة، هذه الطريقة موضحة في الشكل (٣/٢٢).

الترطيب الشمسى (Solar Humidification) هو طريقة حرارية مناسبة أساساً لتوفير مياه محلاة للتجمعات الصغيرة حيث يتوفر ضوء الشمس، تتبخر المياه من السطح الحار عند درجة حرارة أقل من درجة حرارة الغليان. يمكن جمع المياه المالحة فى أحواض ضحلة فى إناء شمسى يشبه الصوبة وتسخينه مع مرور ضوء الشمس خلال غطاء مائل

من الزجاج أو البلاستيك الشفاف. ترتفع الأبخرة وتتكثف على الغطاء البارد، ثم تنساب المياه العذبة نحو قناة التجميع. رغم أن الطاقة من الشمس إلا أن السخان الشمسي مكلف حيث يتطلب مساحة كبيرة ويحتاج إلى طاقة إضافية لضخ المياه.



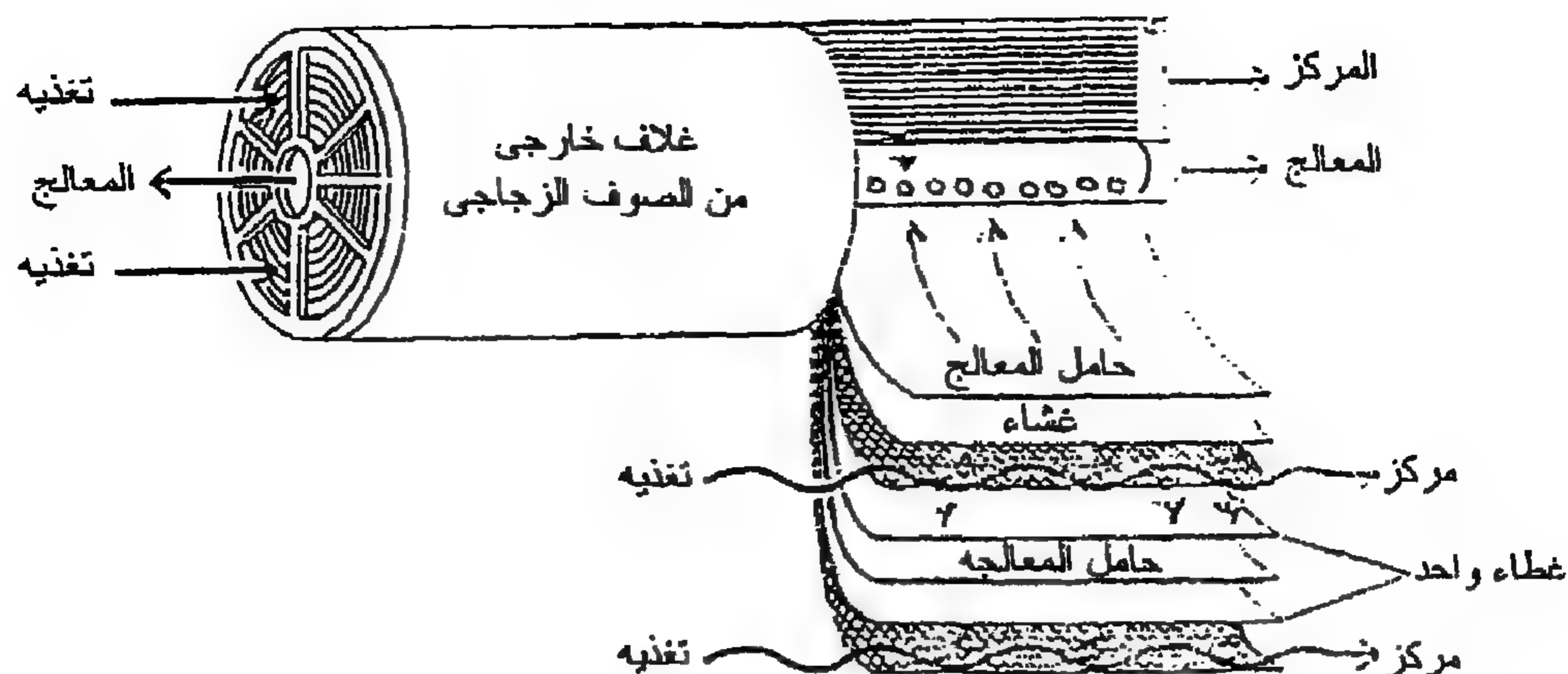
شكل (٣/٢٢) محطة التحلية بالتقطير الوميضي متعدد المراحل

التناضح العكسي والفرز الكهربى : (RO, ED)

Reverse Osmosis And Electro dialysis

كلا من التناضح العكسي والفرز الكهربى هما عمليات الغشاء للتحلية، ولكنهما عادة استخدامهما محدود لمعالجة المياه الخمضاء (حيث الملوحه من ٢٠٠٠ إلى ١٠٠٠٠ ملجرام/لتر) أو إمدادات المياه الجوفية وليس مياه البحر، فى الديليزة الكهربائية أو الفرز الكهربى يستخدم فرق جهد خلال الماء المالح، مسبباً تحريك الأيونات فى اتجاه القطب ذو الشحنة المخالفة. الأغشية من البلاستيك التى تكون ذات خاصية نفاذية انتقائية للأيونات الموجبة أو السالبة تستخدم لفصل المياه العذبة من المياه المالحة.

فى التناضح العكسي (يسمى كذلك الترشيح الفائق) يقوم غشاء شبه نفاذ بفصل الماء المالح بتركيزين مختلفين يوجد ميل طبيعى للتركيزات لتصبح متساوية بتدفق الماء من الجانب المخفف إلى الجانب المركز (الأسموزي). ولكن الضغط العالى المستخدم على التركيزات العالية من جانب الغشاء يمكن أن يعكس هذا الاتجاه المتدفق. المياه العذبة تتسرب خلال الغشاء تاركة محلول ملحي أكثر تركيزاً، للمحافظة على المساحة وللمساعدة فى عمل تكنولوجيا التناضح العكسي كعملية مقبولة اقتصادياً، فإن الأغشية الشبه نفاذة يمكن وضعها فى حزم من طبقات متعددة من وحدات ملفوفة حلزونياً وعلى استقامة مواسير طويلة، كما هو موضح فى الشكل (٣/٢٣).



شكل (٣/٢٣) مخطط لوحدة التناضح العكسي بالغشاء الحلزوني يتم ضخ

مياه التغذية الخمضاء (Brakish) عند ضغط عالي في الأنبوب.

يلي المقطر الوميضي متعدد المراحل المستخدم أساساً لمعالجة مياه البحر التناضح العكسي هو الذي يليه في إنتاج المياه المحلاة على مستوى العالم، ولكن، مقارنة بالمقطر الوميضي متعدد المراحل، فإن التناضح العكسي يتطلب فقط نصف الطاقة لإنتاج مياه الشرب. لا توجد ضرورة للتسخين في حالة التناضح العكسي، معظم الطاقة المطلوبة هي لضغط مياه التغذية، ولكن، بسبب التطوير الحديث في تحمل وكفاءة الغشاء الشبه نفاذ المخلق فإن سوق التناضح العكسي ينمو سريعاً أكثر من عمليات التقطير الوميضي متعدد المراحل.

الفصل الرابع

نظم توزيع المياه

نظم توزيع المياه: (Water Distribution Systems)

نظام توزيع المياه عبارة عن شبكة متداخلة من خطوط المواسير وأحواض التخزين، الطلمبات، ومهمات صغيرة منها المحابس، وأجهزة القياس للتدفقات.

١ - عوامل التصميم (Design Factors)

يبدأ تصميم نظام توزيع المياه بعد دراسة متطلبات المجتمع المخدم من المياه، نظام توزيع المياه يجب أن يكون قادراً على توصيل الكميات المناسبة من المياه لمختلف الاستخدامات في التجمع السكني. كذلك يجب المحافظة على استمرار الضغط الكافي خلال الشبكة. يلزم رفع المساحة الحقلية للمنطقة المخدمة بما يتطلب تحضير خرائط للشوارع وللظواهر الطبوغرافية على خريطة ذات مقياس رسم صغير نسبياً (حوالي ١ : ٢٤٠٠٠ أو ١ بوصة = ٢٠٠٠ قدم)، يتم تخطيط العناصر الرئيسية للنظام، حيث يتم إظهار الأماكن العامة لمصادر المياه، محطات الضخ، أحواض التخزين.. الخ. على خرائط ذات مقياس أكبر (حوالي ١ : ٦٠٠ أو ١ بوصة = ٥٠ قدم). يتم وضع الأماكن الصحيحة للمكونات المقترحة بالتفصيل، مثل المرافق الموجودة كخطوط الصرف الصحي أو الغاز. هذه الرسومات يصاحبها مواصفات مكتوبة لوصف مواد وطرق الإنشاء.

التدفقات المطلوبة والضغط :

من المناسب تقسيم متطلبات المياه أو استخدامات المياه إلى أربعة أقسام كالتالي:

- ١- مياه الاستخدام المنزلي للشرب والنظافة العامة والاستخدامات الأخرى.
- ٢- المياه العامة لمقاومة الحريق ونظافة الشوارع والاستخدام في المدارس والمباني العامة الأخرى.
- ٣- مياه الاستخدامات الصناعية والتجارية والفنادق والمغاسل وما شابه ذلك.
- ٤- الفقد بالتسرب في الشبكة وفي السباكة المنزلية.

إجمالي الاحتياجات من المياه لأي تجمع سكني تختلف طبقاً للتعداد والنشاط الصناعي والتجاري والمناخ وتكاليف المياه. فمثلاً في المناخ الحار الجاف يكون الاستخدام المنزلي هو الجزء الأكبر من كل الاستخدامات عن المناخ البارد، كذلك رش المساحات الخضراء بالماء من الاستخدامات العادية في المناخ الجاف. ولكن عندما تكون تكاليف استهلاك المياه على المستهلك مقدرة بالأمطار المكعبة (من خلال العدادات) وليس طبقاً لمساحة الوحدة السكنية فإن الاستهلاك يقل ومتطلبات المياه بالتالي تنخفض.

احتياجات الفرد من المياه :

إذا كان الاستخدام السنوي الكلي للمياه لمجتمع مقسوماً على ٣٦٥ يوم فإنه يتم الحصول على قيمة الاستهلاك اليومي، وفي حالة قسمة هذه القيمة على إجمالي عدد السكان فإنه يتم الحصول على معدل الاستهلاك للفرد في اليوم، وهذه تقدر باللتر في اليوم للفرد. فمثلاً، إذا كان متوسط الاستهلاك اليومي ٥ مليون لتر في اليوم لتجمع سكني مكون من ١٠٠٠٠ فرد، فإن متوسط استهلاك الفرد هو ٥٠٠ لتر في اليوم. يجب معرفة أن هذا الرقم يشمل نصيب كل فرد من الاستخدامات الصناعية والتجارية والخدمية والفقد بالتسرب، وليس مجرد الاستخدام الشخصي فقط.

نظراً لأن الاحتياجات الحقيقية من المياه لمساحة سكنية جديدة تكون غير معلومة، فإنه يستخدم متوسط قيمة الاستهلاك اليومي للفرد من تجمع مماثل لإمكان تصميم نظام التوزيع الجديد. النظم الجديدة يتم تصميمها لخدمة التجمعات السكنية ومتطلبات المياه المتوقعة خلال من ١٠ سنوات إلى ٣٠ سنة مستقبلاً، بخلاف ذلك يكون النظام صغيراً جداً بعد تمام تنفيذه مباشرة.

التغيرات في احتياجات المياه :

في كثير من المجتمعات تتغير احتياجات المياه على أساس موسمي، يومي، وكذلك كل ساعة. فمثلاً، في اليوم الحار الصيفي إذا كان متوسط الاحتياج اليومي هو ٤٠٠ لتر في اليوم، عندئذ يمكن تقدير أقصى استهلاك يومي ليكون $400 \times 2 = 800$ لتر في اليوم للفرد. عموماً يجب تصميم خطوط المواسير والطلبات لشبكة التوزيع وكذلك محطة المعالجة لتحقيق أقصى متطلبات يومية وليس متوسط الاحتياجات. أدنى تدفق يتم تصميمه لحوالي ٦٠٠ لتر في اليوم للفرد الواحد.

كذلك فإن استهلاك المياه يتغير كل ساعة خلال اليوم الواحد. طبقاً للتوقعات تكون ساعات ذروة الاحتياجات في الأحياء السكنية في ساعات الصباح والمساء، قبل وبعد يوم العمل العادي مباشرة. في الأحياء التجارية والصناعية يكون استهلاك المياه مرتفعاً خلال اليوم. أدنى تدفقات تكون حوالي الساعة الرابعة صباحاً حيث لا يوجد استخدام للمياه.

المخطط الذي يوضح التغيرات كل ساعة في استخدامات المياه موضح في الشكل (٤/١) على هذا المخطط تدفقات ساعة الذروة تكون الساعة السادسة مساءً. في الحالات الحادة، يكون أقصى تدفق في الساعة قد يصل إلى ١٠ أضعاف التدفق المتوسط، ولكن عادة يكون حوالي ٣,٥ ضعف التدفق المتوسط.

تدفقات مياه الحريق :

المياه اللازمة لمقاومة الحرائق تعتبر جزءاً هاماً من إجمالي الاحتياجات التي يلزم توفيرها في نظام توزيع المياه. تدفقات مياه الحريق تكون مطلوبة فقط مرة وإجمالي كمية المياه المستخدمة لإطفاء الحريق في أي عام تكون صغيرة مقارنة بباقي الاستخدامات. ولكن معدل حجم الماء المطلوب في ساعات قليلة من حدوث الحريق يمكن أن يكون كبيراً في مساحة ما. عند أدناه يكون المطلوب من مياه مقاومة الحريق ٣٠ لتر في الثانية لمدة لا تقل عن ٢ ساعة. في الحالات الحادة يكون تدفق المياه حتى ٧٦٠ لتر في الثانية لمدة ١٠ ساعات. مياه مقاومة الحريق المطلوبة تضاف إلى أقصى احتياجات يومية في النظام عند تقدير أقطار المواسير وإمكانات الطلمبات.

الضغوط : (Pressures)

ضغوط المياه في شبكة التوزيع يجب ألا تقل عن ٥٠ رطل/البوصة المربعة (٣٥٠ كيلوبار) وذلك لتوفير التشغيل المناسب للشبكة المنزلية ومهمات الصحن وكذلك لمقاومة الحريق عند استخدام عربات الحريق المجهزة بالطلمبات عند حنفيات الحريق. أقصى ضغط في الشبكة يكون ١٠٠ رطل على البوصة المربعة (٧٦٠ كيلوبار) لخفض فرص التسرب أو تلف المواسير. ضغط حوالي ٨٠ رطل على البوصة المربعة (٥٥٠ كيلو بار) يعتبر أقصى ضغط مناسب، يجب إنشاء محابس تنظيم الضغط في شبكة التوزيع لخفض الضغوط في المناطق المخدومة المنخفضة وإلا فإن الضغط في الشبكة سيكون مرتفعاً جداً.

وضع خط المواسير (Pipe Line Layout)

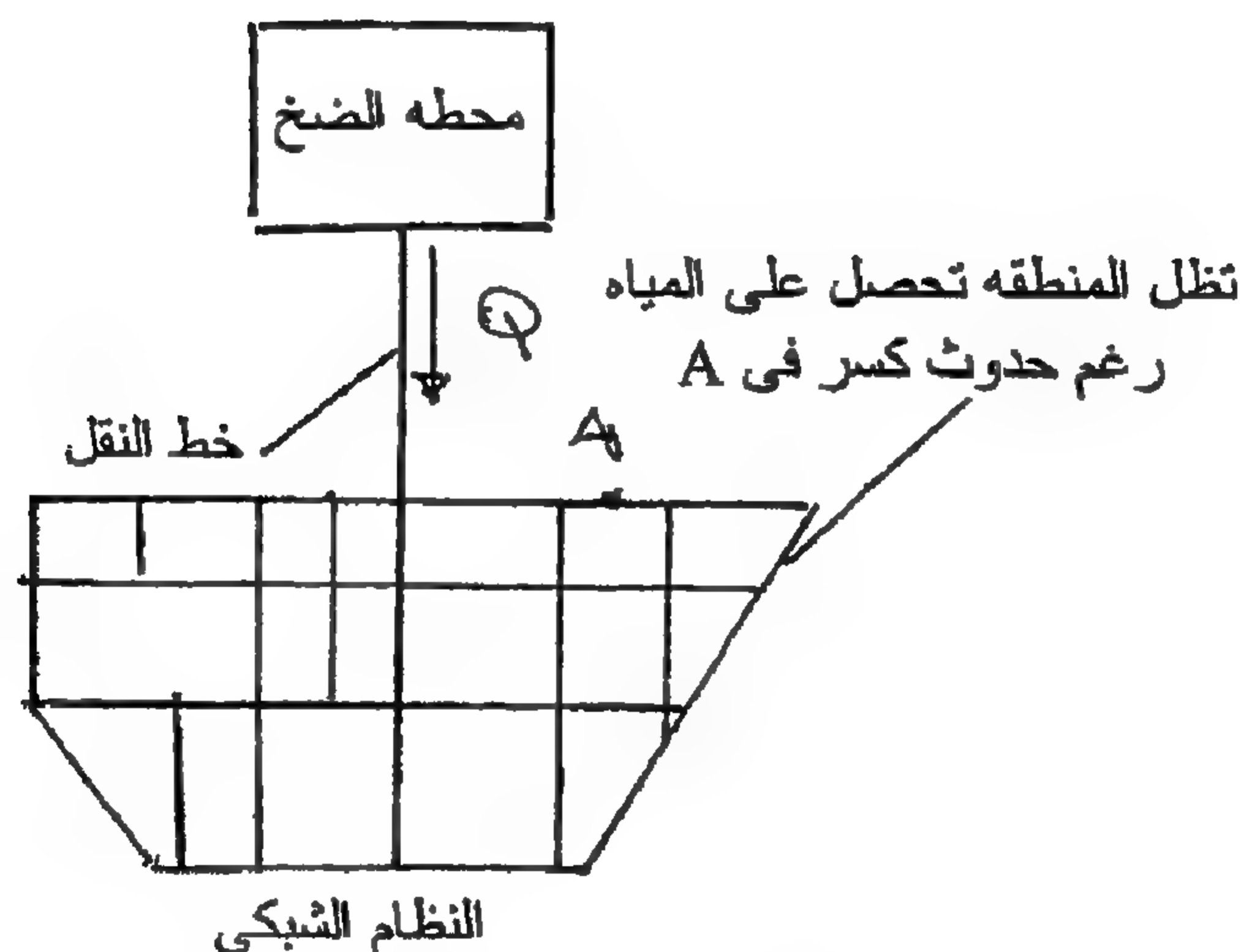
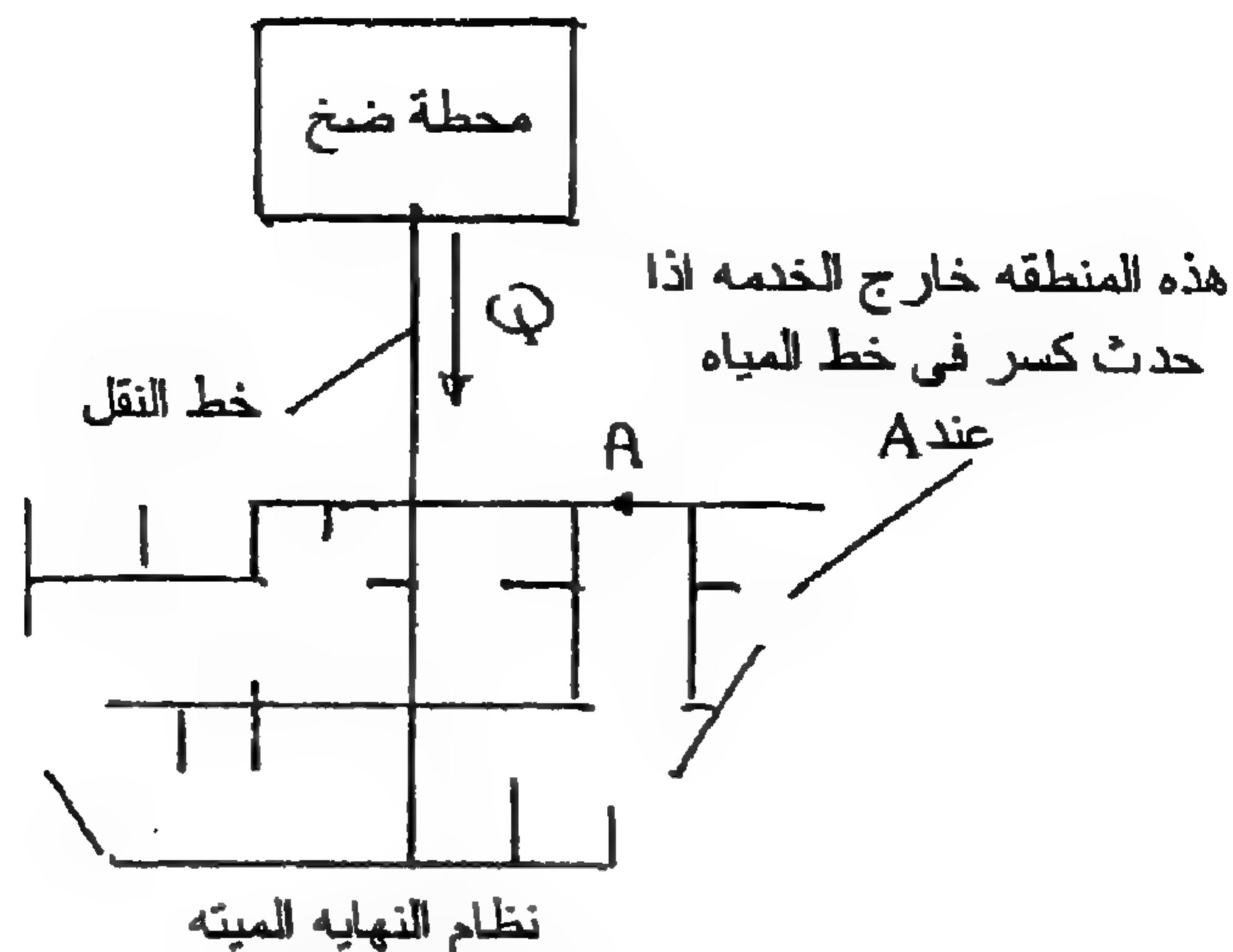
مواسير المياه تكون عموماً بقطر لا يقل عن ٦ بوصة (١٥٠ ملمتر). وهي عادة توضع في الشارع يمين الطريق لتوفير المياه لكل مسكن. النظام الشبكي (Gridiron) للمواسير يفضل وجود كثير من فرعات النهايات الميئة، في النظام الشبكي يمكن للمياه أن تدور في دائرة متقاطعة، ولكن في نظام النهاية الميئة يمكن للمياه أن تظل راكدة في مقاطع من الشبكة، بما يسبب مشاكل بالنسبة للمذاق والرائحة الناتجة عن نمو وتكاثر البكتريا. الطريقتان لوضع شبكة التوزيع موضح في الشكل (٢/١).



شكل (٢/١) مخطط يبين التغير في الطلب على المياه

أو استهلاك المياه خلال اليوم

في حالة وضع النهاية الميئة يكون من الضروري التدفق من أن لآخر لخطوط المواسير عند محابس الحريق لمنع شكوى المواطنين من الرائحة والمذاق. سلبية أخرى لنظام النهاية الميئة هي أن خدمة المياه يمكن أن يحدث لها اضطراب لفترات زمنية طويلة عند عمل الإصلاح لحالات حدوث تلف أو كسر في المواسير. ولكن في النظام الشبكي المقطع الذي حدث به كسر يمكن عزله بالمحابس، ويستمر وصول المياه إلى المستهلكين من الجانب الآخر من الدائرة. معظم شبكات التوزيع تشمل كلا النوعين طبقاً للظروف المحلية والعوامل الاقتصادية.



شكل (٤/٢) النظام الشبكي يفضل لما يوفره من مرونة في الخدمة والتشغيل.

خطوط مواسير نقل المياه يمكن الإشارة إليها كخطوط نقل المياه من محطة المعالجة إلى شبكة التوزيع، أما خطوط توزيع المياه داخل شبكة التوزيع وهي من مواسير ذات قطر أصغر فهي التي توفر الإمداد اليومي للمساحة المخدومة.

٢- مواسير المياه :

مواسير المياه في شبكة التوزيع يجب أن تكون قوية وذات قدرة على التحمل لمقاومة القوى الداخلية والخارجية وكذلك مقاومة التآكل. الماسورة تكون معرضة للضغط الداخلي من الماء وللضغط الخارجي من وزن التربة (تربة الردم) وحركة المركبات فوقها، القوة

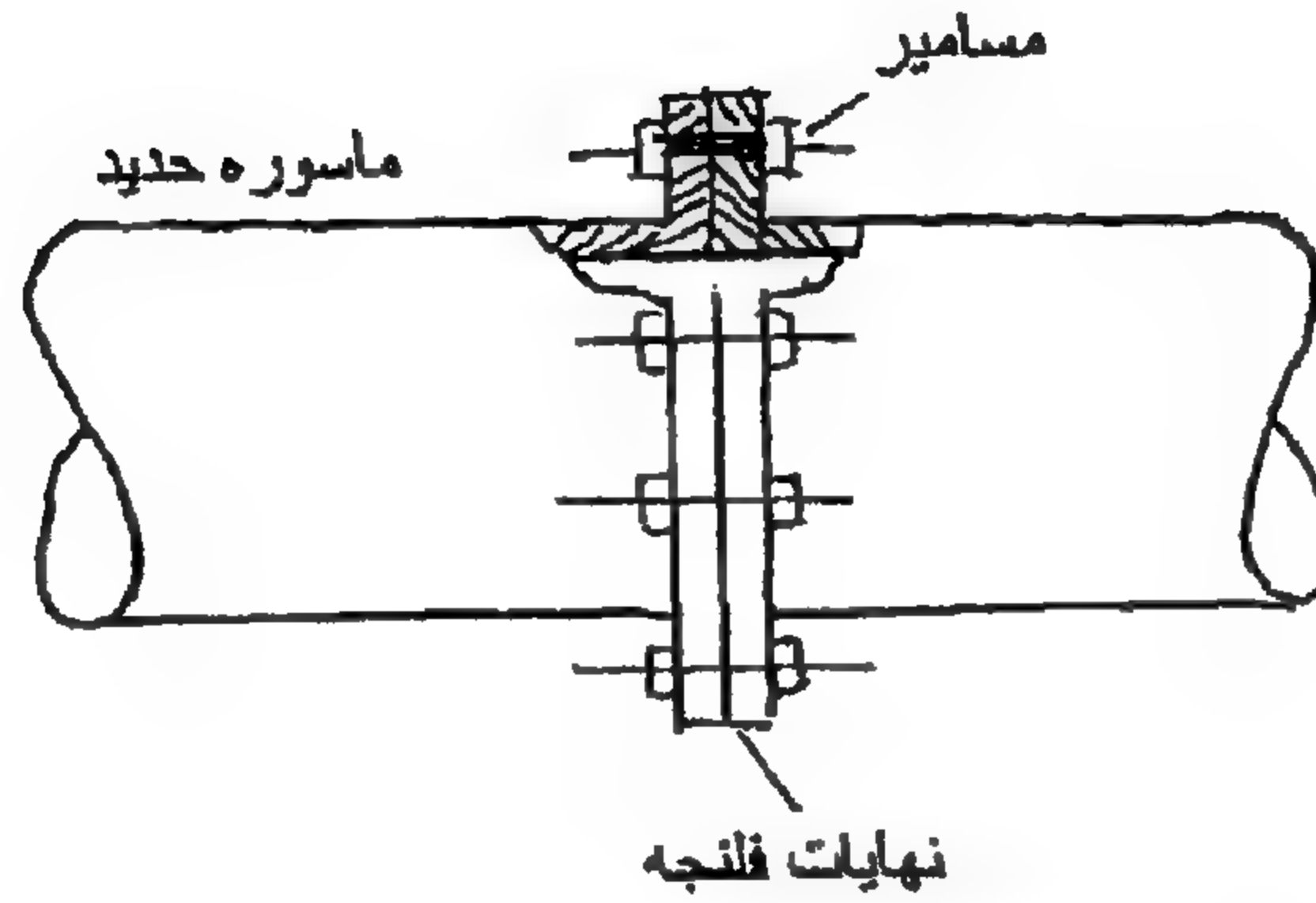
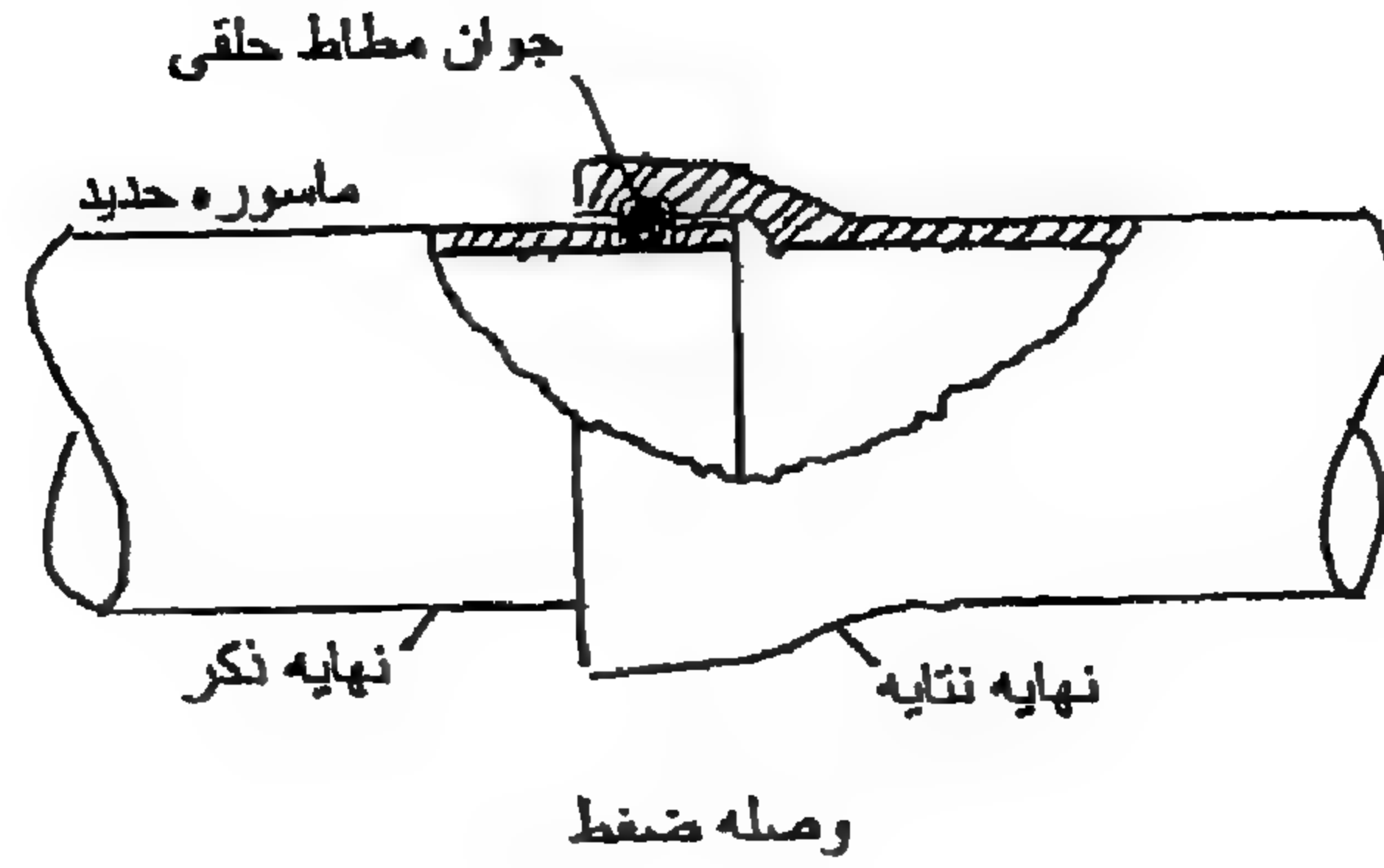
الأخرى التي يجب أن تكون الماسورة قادرة على تحملها وهي المطرقة المائية (Water Hammer). وهذه يمكن أن تحدث عند القفل السريع جداً للمحبس، مسببة موجات من الضغط العالي لإحداث الاضطراب داخل الماسورة. وأخيراً مقاومة التلف الناتج عن التآكل أو الصدأ والذي يمكن أن يحدث داخلياً بسبب نوعية المياه أو خارجياً بسبب ظروف وطبيعة التربة. المواد المستخدمة عادة في صناعة مواسير المياه يجب أن توفر القوة والتحمل كما سيتم مناقشته.

مواسير الزهر المرن (Ductile Iron Pipe)

الزهر المرن هو من المواد المستخدمة على نطاق واسع في صناعة المواسير المستخدمة في خطوط مواسير شبكة توزيع المياه. بسبب المكونات الكيماوية فإن الزهر المرن الأقوى والأكثر مرونة مقارنة بالزهر الرمادي، الذي كان مادة صناعة مواسير حتى منتصف القرن التاسع عشر. حديد الزهر المرن أقل قسافة (Less Brittle) مقارنة بالزهر الرمادي، كما أنه أقل عرضة للتلف أثناء الإنشاء كما أنه يعتبر أكثر مقاومة للتآكل.

مقاطع ماسورة الزهر المرن تتوفر بأطوال حتى ٦ متر وبأقطار حتى ٤٨ بوصة وهي تصنع بتخانات مختلفة، حيث مواسير الدرجة العليا حيث الجدار أكثر سماكاً وتوصف للإنشاءات العميقة أو في حالة ضغوط المياه المرتفعة.

توجد طريقتان لتوصيل المواسير وهي وصلة الدفع (الرأس والذيل) ووصلة الفلنجة، في وصلة الرأس والذيل (Spigot and Bell) حيث يتم دفع الذيل في الرأس حيث يتم ضغط حلقة مطاط في نهاية الرأس عند توصيل مقطعي الماسورين، بما ينتج عنه وصلة مرنة ولكنها في نفس الوقت محكمة ضد تسرب المياه. وصلات الفلنجات تشمل توصيل نهايات المواسير معاً بمسامير الرباط وهذه تستخدم في حالة الإنشاءات فوق سطح الأرض في محطات المعالجة أو محطات الطلمبات. كلا من التوصيل بالدفع والحلقة المطاط والتوصيل بالفلنجة موضح في الشكل (٤/٣).



شكل (٤/٣) طريقتان لتوصيل مقاطع من مواسير الحديد

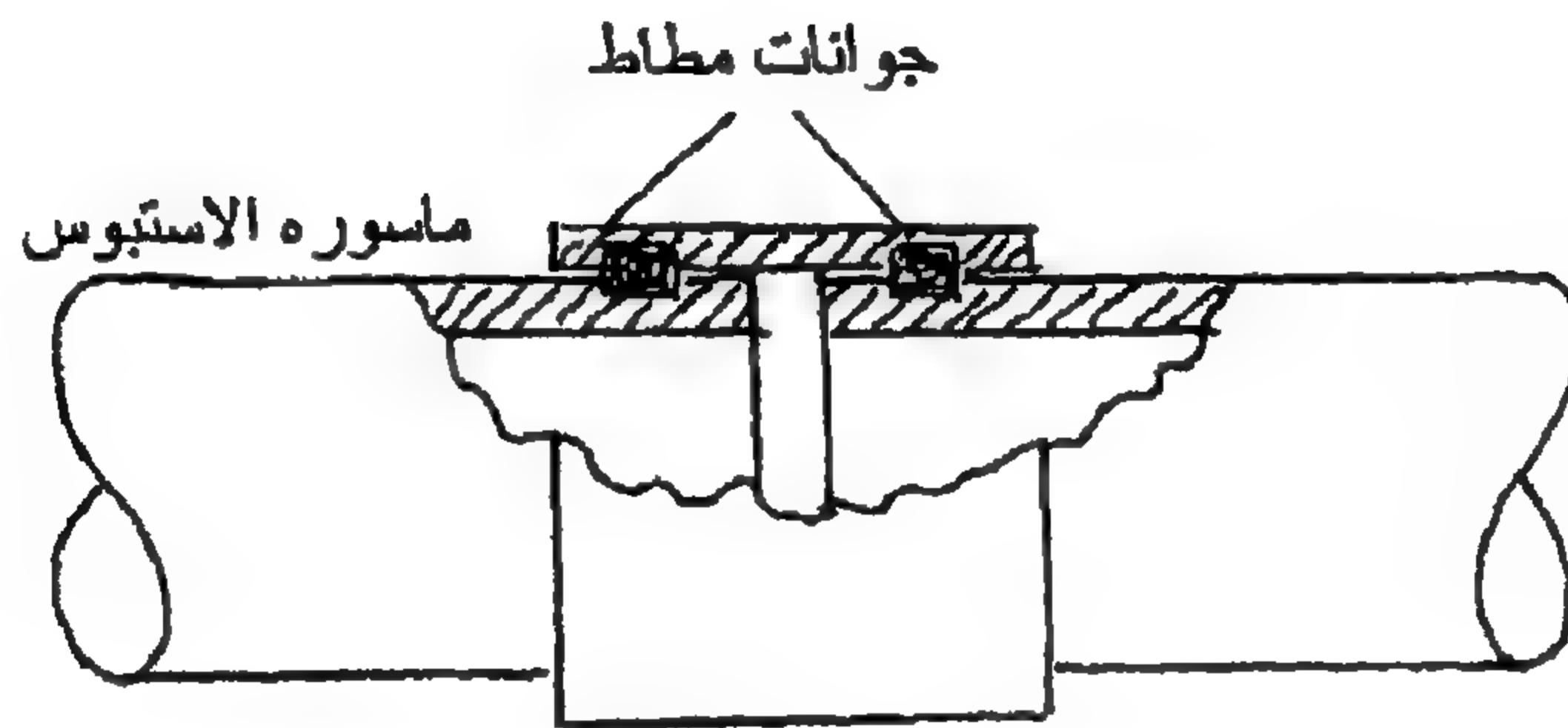
مواسير الحديد التي لا يتم حمايتها تكون معرضة لعملية تسمى (Tuberculation) أي تكون الدرنات - حيث تكون الدرنات أو البروزات الصغيرة من الصدأ على الجدار الداخلي للماسورة. هذه الدرنات تزيد من مقاومة التدفق، تقلل من طاقة الماسورة، وتزيد من الفقد في الضغط في الشبكة. المواسير الحديدية عادة يتم تبطينها بطبقة رقيقة من المونة الأسمنتية لتغطية السطح الداخلي لمنع تكون هذه الترسبات أو الدرنات وللحفاظ على الطاقة الهيدروليكية للماسورة. كذلك يستخدم القار لتغطية السطح الخارجي للماسورة لحمايتها من التآكل (معامل C لهازن وليام يصل إلى ١٤٥ للماسورة المبطننة بالأسمنت).

مواسير الأسبستوس الأسمنتية :

الخليط المدمج من الرمل والأسمنت وشعيرات الأسبستوس يوفر مادة للماسورة خفيفة الوزن وناعمة ومقاومة للتآكل. رغم أنها ليست قوية مثل ماسورة الحديد، فإن عدم حدوث

تآكل وترسيبات وكذلك سهولة الإنشاء جعل ماسورة الأسبستوس مطلوبة في كثير من الإنشاءات.

ماسورة الأسبستوس لها خواص هيدروليكية و طاقة تحميل عالية ($C = 140$) وهى تصنع بأطوال حتى ٤ أمتار وبأقطار حتى ١٦ بوصة، وبدرجات مختلفة من ضغط الاختبار حتى ٢٠٠ رطل على البوصة المربعة (١٤٠٠ كيلوبار). النهايات المستوية لماسورة الأسبستوس يسهل توصيلها باستخدام وصلة منياني (Coupling Sleeve) كما هو موضح فى الشكل (٤/٤) . حلقنتان المطاط فى الوصلة توفران وصلة مرنة محكمة ضد تسرب المياه.



شكل (٤/٤) ماسورة الأسبستوس الأسمنتى يتم توصيلها بواسطة الوصلة المنياني وحلقنتان من المطاط.

رغم أن الأسبستوس معروف أنه مسرطن عند استنشاقه وخاصة بين المدخنين، إلا أنه لا توجد دلائل للعلاقة بين ابتلاع الأسبستوس وأى أمراض أخرى. ولكن الصناع معرضون لبدائل الأسبستوس مثل شعيرات الكربون، وشعيرات البلاستيك، المواد المعدنية. مياه الشرب الآمنة تسمح بوجود ٧ آلاف شعيرة أسبستوس فى اللتر بينما الأسبستوس المحمول فى الهواء يكون فى حدود ١٠٠ شعيرة فى اللتر. وعموماً فقد قامت مصر بإيقاف إنتاج مواسير الأسبستوس تفادياً لما قد يسببه من مخاطر على الصحة العامة.

مواسير البلاستيك :

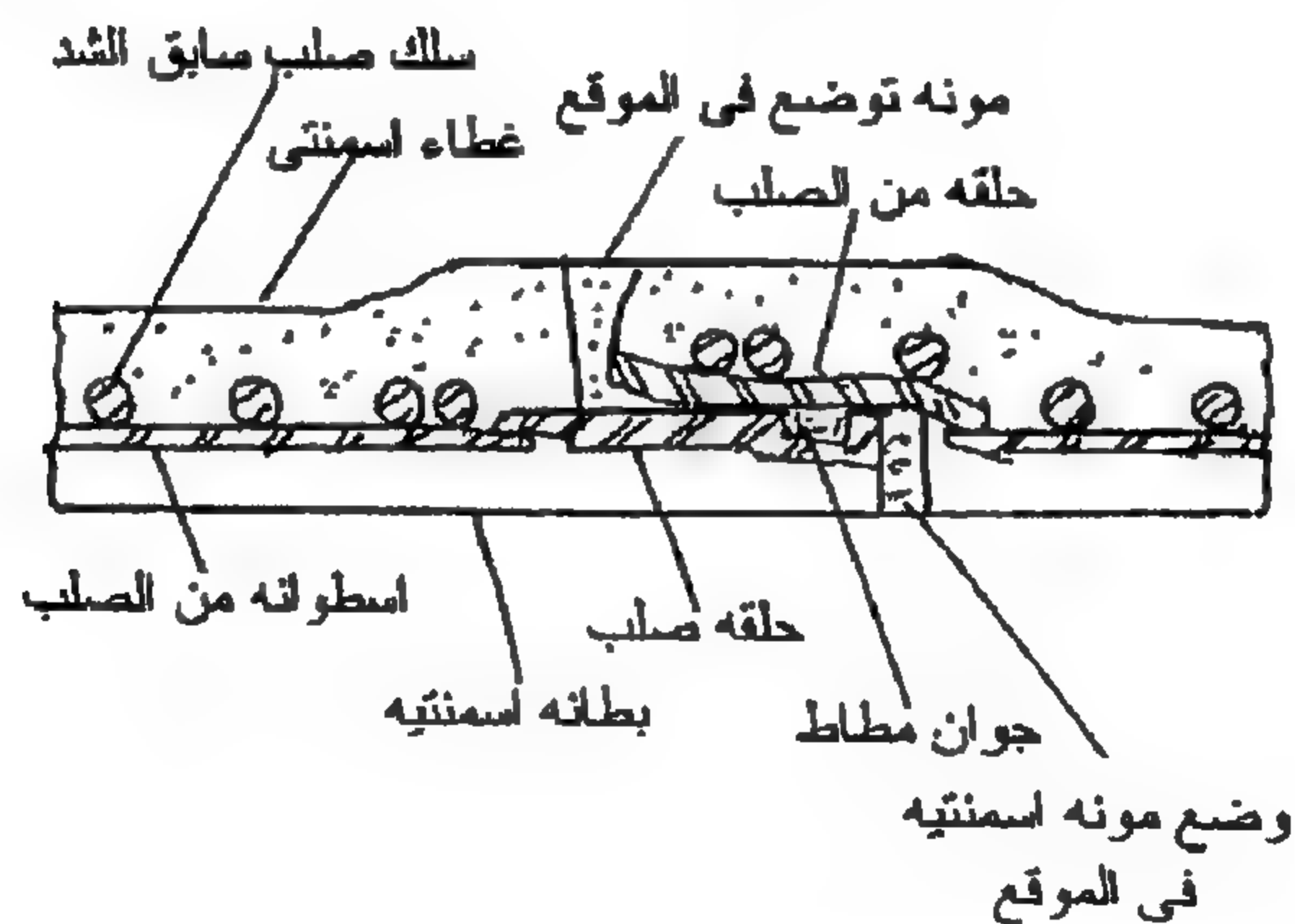
أحياناً تستخدم ماسورة البولى فينيل كلوريد فى شبكة توزيع المياه وهذه الماسورة قوية ولها قدرة تحمل بالإضافة إلى خفة الوزن وسهولة التداول. والإنشاء. الماسورة البلاستيك مقاومة للتآكل وهى شديدة النعومة بما يوفر خواص هيدروليكية جيدة (حيث C

150 =) وهى متاحة بأقطار حتى ٢٤ بوصة يتم توصيل الماسورة بوصلة الضغط بين الرأس والذيل مع استخدام حلقة مطاط لإحكام التوصيل ومنع نفاذية المياه وتحقيق المرونة.

أنواع أخرى من مواد الصنع لمواسير البلاستيك تشمل مواسير البولى إيثيلين، ومواسير البولى بروبيلين وكذلك مواسير من مادة (Acrylonitrile Butadiene Styrene) ABS. هذه المواسير يمكن توصيلها باستخدام الجلبة والقلاووظ أو اللحام بالمذيب الكيماوى.

مواد أخرى للمواسير : (Other Pipe Materials)

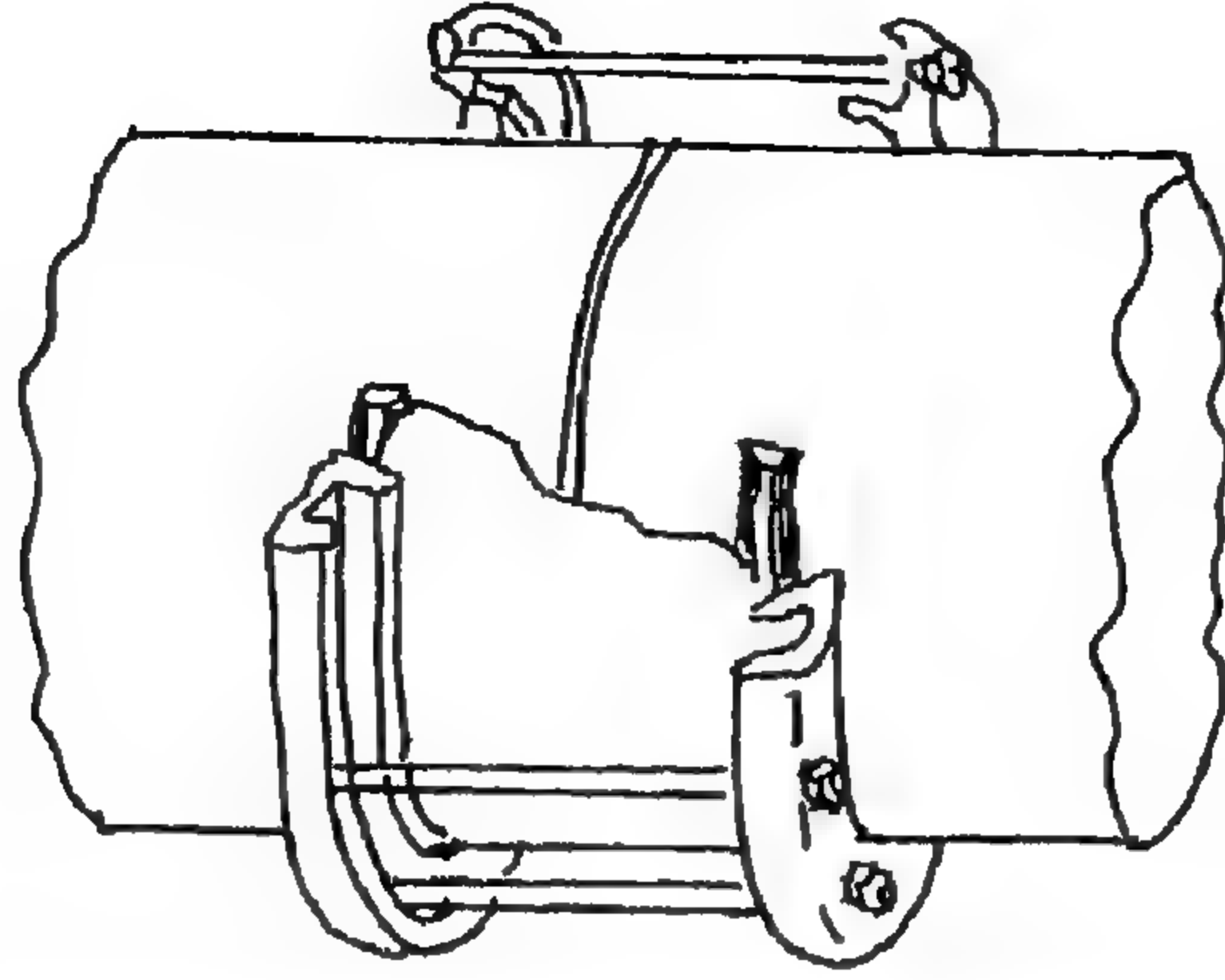
المواسير الخرسانية المسلحة تصنع من أسطوانات ملحومة من الصلب ملفوفة بأسلاك من الصلب ومغطاة من الداخل والخارج بالخرسانة. وهذه الماسورة تستخدم أساساً فى خطوط نقل المياه الطويلة وذات قطر كبير. وهذه يمكن تصنيعها بأطوال حتى ٥ متر وبأقطار حتى ٦ متر. الماسورة قوية جداً ولها قدرة تحمل كبيرة كما أن لها خواص هيدروليكية ممتازة. المواسير يمكن توصيلها باستخدام الوصلة المطورة للرأس والذيل بالمونة الأسمنتية كما هو موضح فى الشكل (٤/٥).



شكل (٤/٥) مقطع فى وصلة المواسير الخرسانية سابقة الإجهاد

أحيانا تستخدم ماسورة الصلب فى خطوط نقل المياه وخاصة للإنشاءات فوق سطح الأرض، وهى شديدة القوة كما أنها أخف فى الوزن مقارنة بماسورة الخرسانة المسلحة. ولكن يجب العمل على حمايتها جيداً ضد التآكل، حيث يتم ذلك عادة بتبطين السطح الداخلى وكذلك طلاء وتغطية السطح الخارجى بلفائف من البلاستيك أو الخيش المشبع

بالقطران أو الكولتار. يمكن توصيل مواسير الصلب باللحام أو بتجهيزات الوصلة الميكانيكية كما هو موضح في الشكل (٤/٦).



شكل (٤/٦) الوصلة الميكانيكية المستخدمة لتوصيل المواسير الصلب

الملاحق : (Appurtenances)

الأداء الجيد لشبكة التوزيع يتطلب تجهيزات مختلفة بالإضافة إلى المواسير، هذه التجهيزات التي تسمى الملاحق تشمل محابس قفل، حنفيات حريق، محابس خفض الضغط، ووصلات أخرى.

حنفيات الحريق (Hydrants)

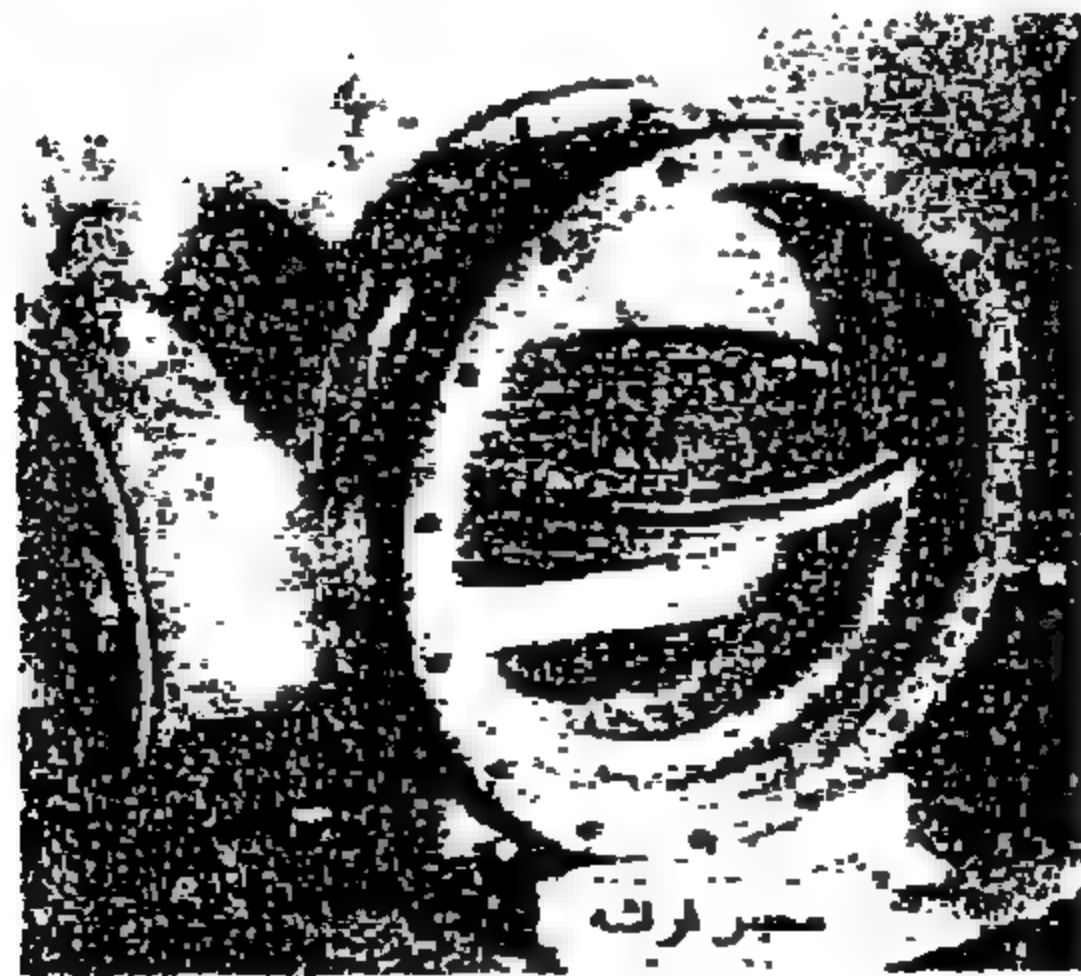
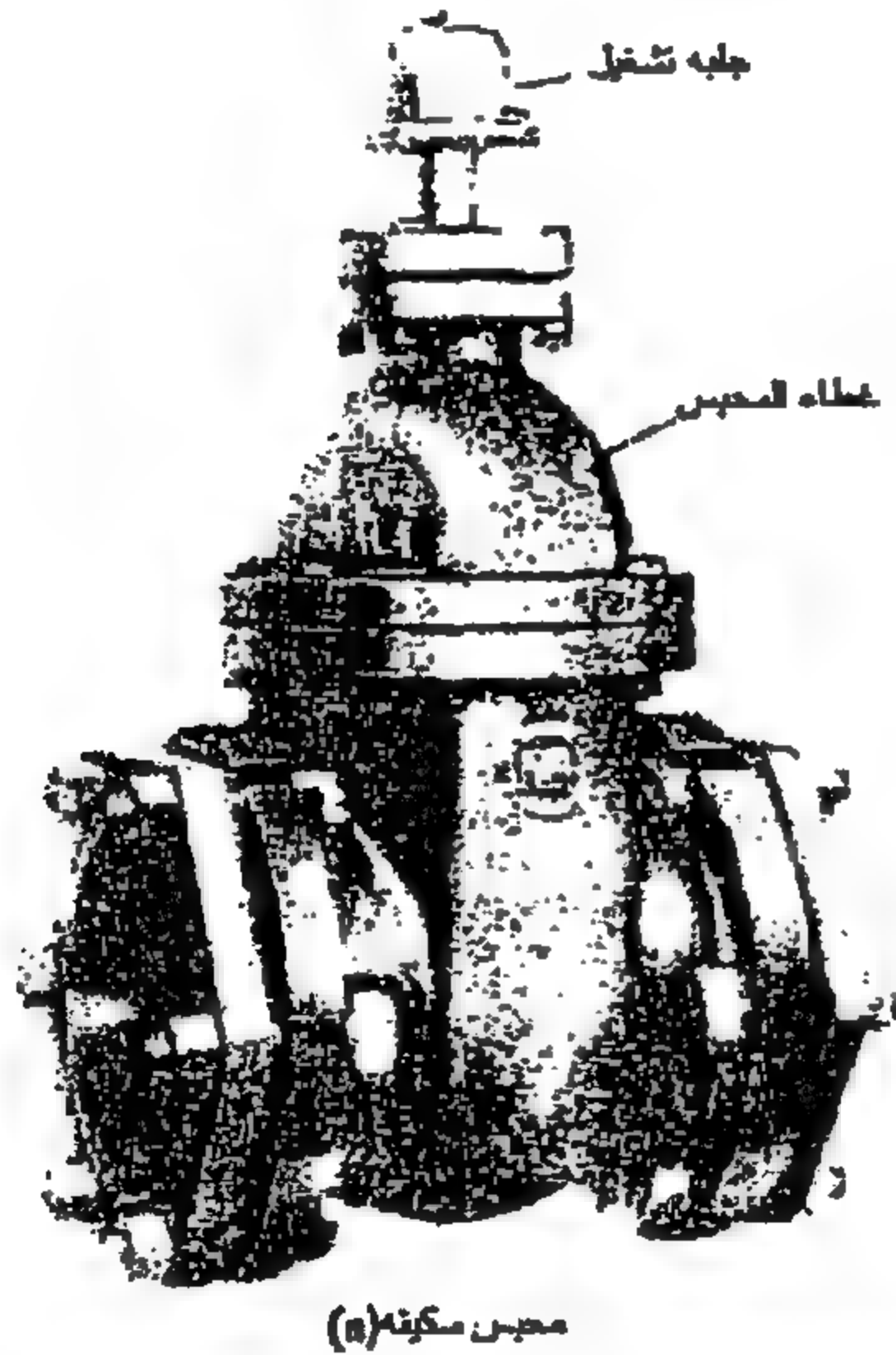
الغرض الرئيسي من حنفيات الحريق هو توفير المياه في المكان المناسب لمقاومة الحريق وكذلك لأي ظروف طارئة أخرى. حنفية الحريق تعمل كذلك لدفع المياه لغسيل المواسير، وكذلك لاختبار الضغط للمواسير تحت سطح الأرض. الفواصل وأماكن حنفيات الحريق تتوقف أساساً على الحماية من الحريق ومتطلبات التأمين، كذلك توضع حنفيات الحريق عند النهايات الميتة وعند النقاط المرتفعة والنقاط المنخفضة في خط المواسير.

الذراع الطويل لتشغيل المحبس داخل أسطوانة من الحديد الزهر لحنفية الحريق يقوم بقل المحبس عند قاعدته، محبس آخر في الماسورة لتوصيل حنفية الحريق لخزان المياه يسمح بعزل الحنفية للصيانة.

ماسورة التوصيل تكون عادة بقطر ٦ بوصة، وحنفية الحريق لها وصلتين للخراطيم في أعلاها، توجد طبقة من الزلط في قاع الأسطوانة الحديدية (البرميل) لا لإمكان الصرف من البرميل بعد استخدام الحنفية، وهذا هام تحديداً في المناخ البارد حيث يمكن أن تتجمد المياه وتتلف أسطوانة حنفية الحريق.

المحابس (Valves)

يستخدم كثير من أنواع المحابس في شبكة توزيع المياه للتحكم في كمية واتجاه التدفق. كثير من هذه يمكن فتحه أو قفله يدوياً أو بواسطة أعمدة ملولية أو تجهيزة تروس. المحابس الضخمة عادة تعمل باستخدام نظم كهربية أو هيدروليكية المهمة العادية للمحابس هي للقفل الكامل للتدفق. محابس القفل (السكينة) تستخدم لهذا الغرض. هذه المحابس توضع خلال شبكة التوزيع، بما يسمح بعزل مقاطع من خطوط المواسير أثناء الإصلاح لمواسير تالفة أو طلمبات أو حنفيات حريق. يتكون محبس القفل أساساً من قرص منزلق الذي سيتحرك عبر ممر التدفق بواسطة عامود يعمل بواسطة القلاووظ (اللولب). عندما يكون المحبس في الوضع المفتوح يكون القرص مغلق ومحصوراً في غطاء المحبس أو الغلاف فوق الماسورة ويكون خارج مسار التدفق تماماً. في الوضع المغلق، يتم خفض القرص ويتم إحكام دائرة القرص في منيم المحبس، وبذا يحدث انسداد لمسار التدفق. نموذج لمحبس القفل موضح في الشكل (٤/٧-أ).

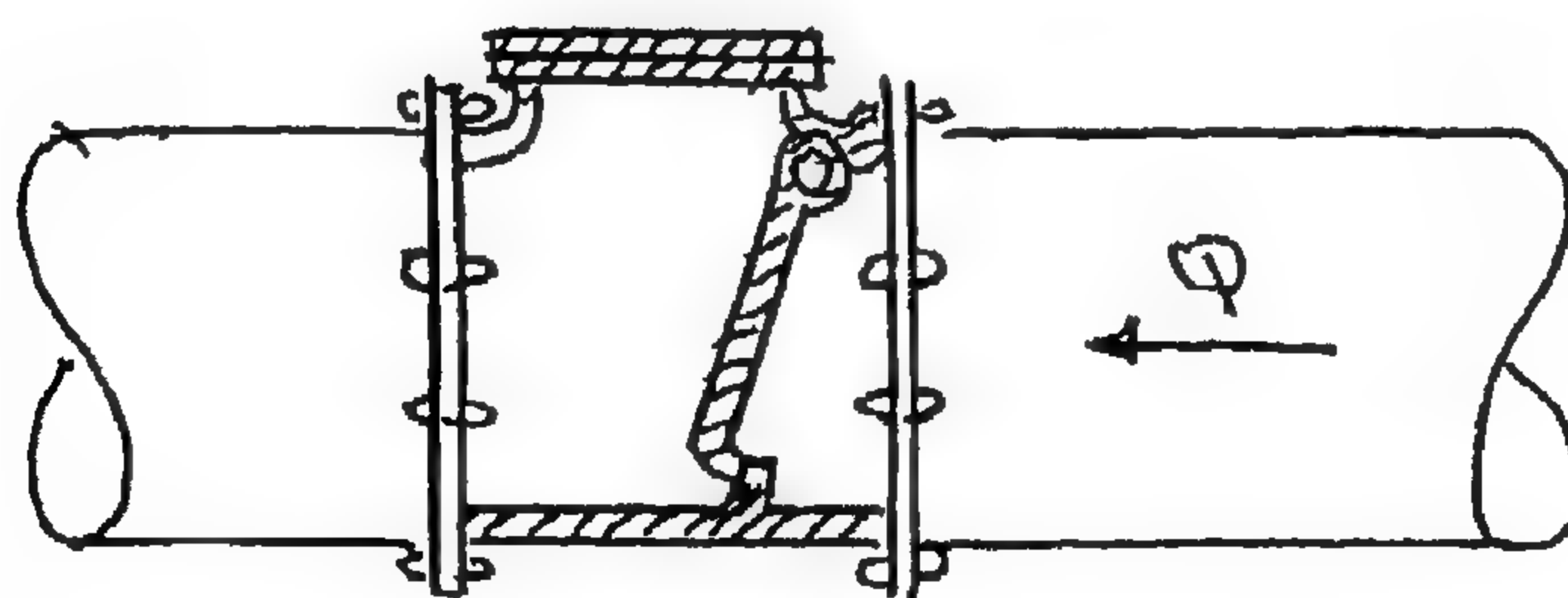


شكل (٤/٧) محبس قفل

محابس القفل تكون إما في الوضع التام القفل أو في الوضع التام الفتح وهي نادراً ما تستخدم كصمام خائق (Throttling) لخلق التدفق بقله جزئياً. في معظم شبكات التوزيع توضع محابس القفل عند تقاطعات المواسير وتعمل يدوياً باستخدام عامود تشغيل ليصل إلى جلبة التشغيل على المحبس، صناديق الحديد الزهر للمحبس والتي تمتد من المحبس إلى أعلى حتى الغطاء عند سطح الشارع وحماية المحبس أسفل سطح الأرض. محابس القفل الضخمة يمكن وضعها في غرفة تحت سطح الأرض لسهولة الوصول والتشغيل.

المحبس المستخدم في خلق التدفق للتحكم في معدل التدفق هو محبس الفراشة. في محبس الفراشة القرص المتحرك يدور على محور في مسار التدفق. في الوضع المقفل يكون القرص محكم الالتصاق على حلقة مطاط في غلافه الخارجي (Casing). في الوضع المفتوح يدور القرص ٩٠°، بما يسمح للماء بالتدفق حوله ومن خلاله. حقيقة أن القرص يكون دائماً في التدفق هو عيب لمحبس الفراشة ذلك يوقف استخدام أدوات نظافة الماسورة. بسبب قوة تدفق المياه فإن المياه تميل إلى قفل المحبس، تستخدم تروس الخفض بإمكانيات التشغيل اليدوي، كما تستخدم إمكانيات استخدام الطاقة في حالة محابس الفراشة الضخمة، نموذج لمحبس الفراشة موضح في الشكل (٤/٧ ب).

محبس عدم الرجوع (Check Valve) وهو يستخدم ليسمح بالتدفق في اتجاه واحد فقط في الماسورة، فهو يقفل آلياً عند توقف التدفق أو أن يميل للتدفق في الاتجاه العكسي، النوع العادي يسمى المتأرجح (Swing Valve) موضح في الشكل (٤/٨) قرص المحبس يرتفع إلى أعلا بقوة تدفق المياه ويقفل بفعل الجاذبية عند توقف التدفق. منيم المحبس يمنع القرص من التأرجح مفتوحاً في الاتجاه العكسي.



شكل (٤/٨) محبس عدم الرجوع المتأرجح

عادة توضع محابس عدم الرجوع في وصلة مواسير الصرف للطلمية لمنع التدفق العكسي عند توقف الطلمبة. وهي تسمى أحياناً محابس قدم (Foot Valves) عند وضعها

عند نهاية ماسورة السحب لطلمبة الرفع فى البئر أو خزان المياه. محابس القدم تمنع الفقد فى التحضير فى طلمبات الطرد المركزى. فى نظم السباكة يمكن استخدام محابس عدم رجوع مزدوجة خاصة لمنع حدوث التدفق العكسى واحتمال التلوث لإمدادات مياه الشرب عند وجود تقاطع مع نظام آخر.

أنواع أخرى من المحابس التى تستخدم فى شبكات التوزيع تشمل محابس خفض الضغط، محابس تصريف الهواء، ومحابس الارتفاع (Altitude Valve). محابس خفض الضغط تعمل آلياً لخفض الضغط الهيدروستاتيكي فى خطوط المواسير التى تكون عند ارتفاع منخفض فى الشبكة، هذه المحابس تكون مناطق ضغط أو شبكات مستقلة فى شبكة التوزيع الضخمة.

خطوط المواسير عادة تسير طبقاً للشكل الطبوغرافى للأرض. انه ليس من غير العادى وجود جيوب هواء عند النقط المرتفعة لخط المواسير. جيوب الهواء هذه تقلل من طاقة التدفق وتزيد من الفقد فى الضغط. توضع محابس تصريف الهواء فى خط المواسير عند أقصى صرف إلى للهواء المحتجز فى الخط.

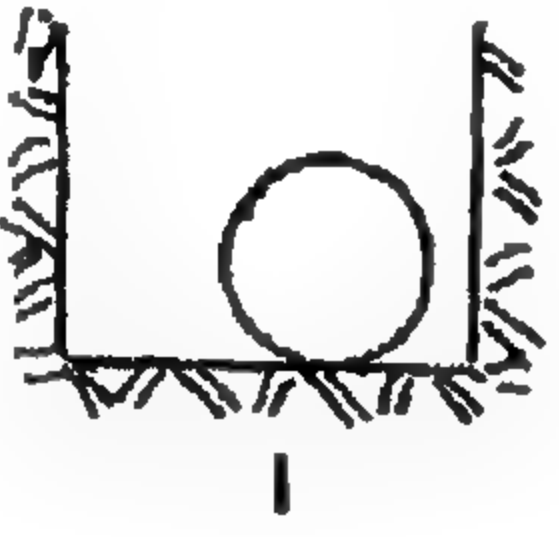
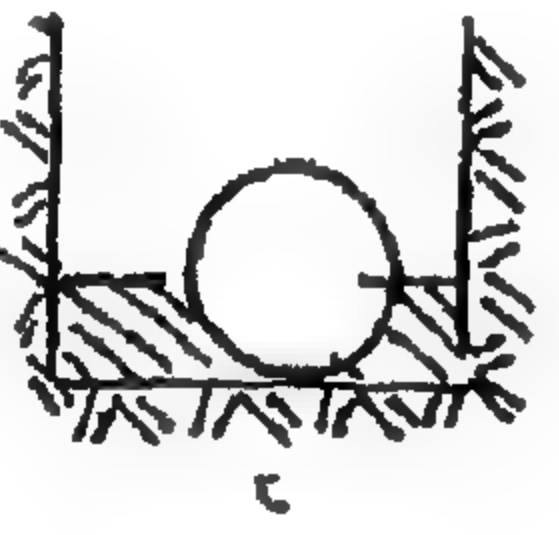
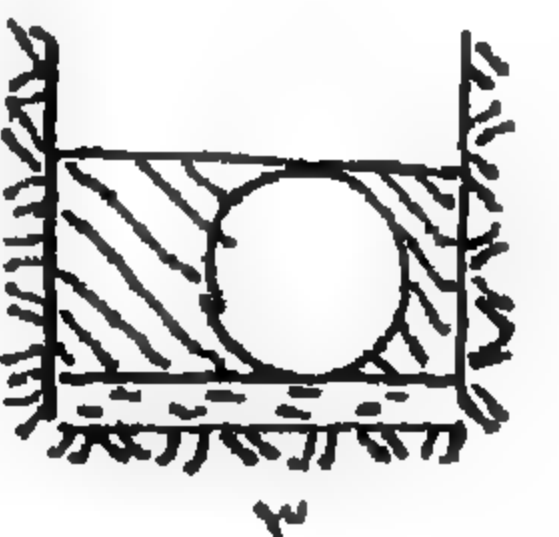
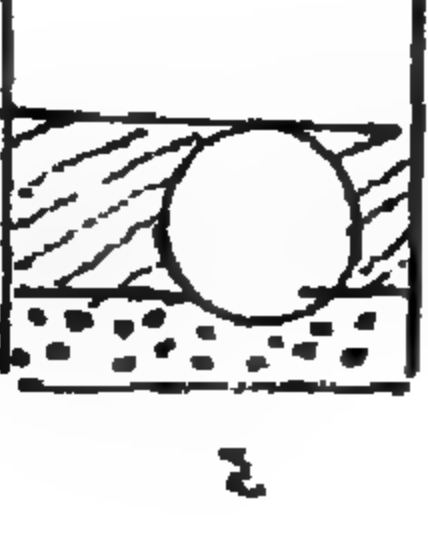
من المهمات الأخرى المستخدمة محبس الارتفاع (altitude) وهو تجهيزة آلية التى تتحكم فى التدفق إلى خزان المياه المرتفع فهو يقل عند امتلاء الخزان، بما يمنع حدوث التدفق الزائد عن طاقة الخزان. عندما تكون هناك حاجة للماء من الخزان يتم استشعار الضغط الذى انخفض فى مواسير التوزيع بواسطة آلية المحبس حيث يفتح المحبس ليسمح بالتدفق خارج الخزان. فى الواقع فإن الماء فى الخزان يطفو فوق الماء فى المواسير ويتدفق بحرية فى أو خارج الخزان، طبقاً لفرق الضغط، هيدروليكيًا الخزان المرتفع سيتم مناقشتها فى هذا الفصل.

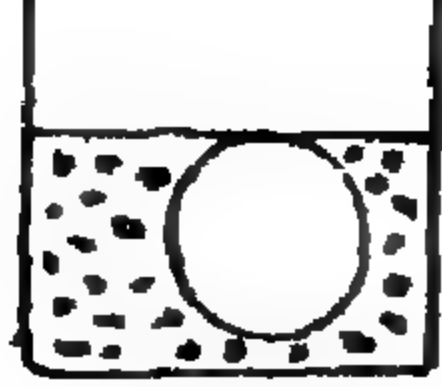
الإنشاء : (Installation)

خطوط مواسير المياه يجب إن تنشأ على العمق الكافى تحت سطح الأرض لتوفير الحماية ضد حركة المرور ولمنع حدوث تجمد للمياه فى حالة المناطق الباردة. عموماً هذا العمق يتراوح ما بين ١-٢ متر (٣-٦ قدم). وحيث أن تدفق المياه يتم تحت الضغط بدلاً من الجاذبية، فإن مسار خطوط المسار يمكن أن يكون مسائراً للشكل الطبوغرافى للأرض.

توجد طرق عديدة لوضع المواسير فى الخندق المحفور لتوفير قوة إضافية وحماية طرق التأسيس المختلفة للمواسير موضح فى الشكل (٤/٩). مادة الردم التى توضع فوق الماسورة يلزم دمكها فى طبقات حول استدارة الماسورة بما تزيد من قوة تحمل الماسورة وتقلل من فرص حدوث كسر أو تلفيات. نوع حالة التأسيس يتوقف على عمق الخندق وسمك جدار الماسورة.

خطوط مواسير المياه لا يتم إنشاءها فى نفس الخندق مع خطوط مواسير الصرف الصحى. عموماً فإنها يجب أن تكون بعيدة عن خط المواسير بما لا يقل عن ٣متر أفقياً، كما يجب أن تكون أعلى من خط الصرف الصحى بما لا يقل عن ٠,٥متر عند عبورها.

الوصف	حالة التأسيس
خندق بالقاع المستوى الردم من تربة مفككة	
قاع خندق مستوى .الردم متماسك قليلاً حتى خط المنتصف للماسورة	
الماسورة توضع فى مالا يقل عن ٤ بوصة من التربة المفككة. الردم يكون متماسكاً قليلاً حتى أعلى الماسورة	
الماسورة توضع فى الرمل أو الزلط أو القطع الحجرية إلى عمق ٨/١ قطر الماسورة بحد أدنى ٤ بوصة . الردم مدموك حتى قمة الماسورة	

 <p style="text-align: center;">٥</p>	<p>الماسورة موضوعة في مادة حبيبية مدموكة حتى خط المنتصف للماسورة . حبيبات مدموكة أو تربة حتى قمة الماسورة</p>
--	---

* بالنسبة للمواسير بقطر ٣٠ بوصة فأكثر تستخدم طرق تأسيس خلاف ما في الحالة (١).

* القاع المستوي هو التربة التي لم يتم حرثها.

* التربة المفككة هي التربة المحلية من الحفر الحالية من الصخور والمواد الغريبة.

شكل (٤/٩) الطريقة القياسية لحالات تأسيس ماسورة الزهر المرن

اختبار الضغط :

مهما كانت طريقة إنشاء خط المواسير فإنه سوف يكون هناك تسرب عند الوصلات. يقبل التسرب في حدود معينة، مواصفات الإنشاء يجب أن تحدد أقصى معدل مسموح به للتسرب. المعادلة العامة المستخدمة لهذا الغرض هي كالآتي :

$$Q_L = \frac{N \times D \times P \frac{1}{2}}{C}$$

حيث :

Q_L = التسرب المسموح به لتر/الساعة (جالون/ الساعة).

N = عدد الوصلات في طول خط المواسير المختبر.

D = قطر الماسورة مليمتراً (بوصة).

C = ثابت يتوقف على وحدات مستخدمة.

للوحدات المترية $C = 32600$

للوحدات الأمريكية $C = 1850$

اختبار الضغط أو التسرب يتم تنفيذه على خط مواسير منشأ حديثاً وذلك بملء الخط بالماء واستمرار الضغط بمعدل ١٥٠ رطل/البوصة المربعة (١٠٠٠ كيلو بار) لمدة ساعة. في حالة حدوث تسرب زائد، فإنه يجب ضخ كمية من الماء أكبر من Q_L في الخط

للمحافظة على الضغط، يكون من الضروري عمل الإصلاحات قبل قبول دخول خط المواسير في الخدمة.

مثال :

خط مواسير منشأ حديثاً بطول ٣٠٠ متر وبقطر ٣٠٥ ملمتر تم اختباره بالضغط للتسرب، لوحظ أنه أثناء الاختبار لمدة ساعة زمنية، تم ضخ حجم من المياه يعادل ١٠ لتر لاستمرار الضغط المطلوب عند ١٠٠٠ كيلو بار. طول المواسير هو ٦ متر بين الوصلات. هل التسرب المسموح به زاد عن المعدل.

الحل :

أولاً : أحسب عدد الوصلات في خط المواسير بطول ٣٠٠ متر كالاتي :

$$N = \frac{٣٠٠ \text{ متر}}{٦ \text{ متر}} = ٥٠ \text{ وصلة}$$

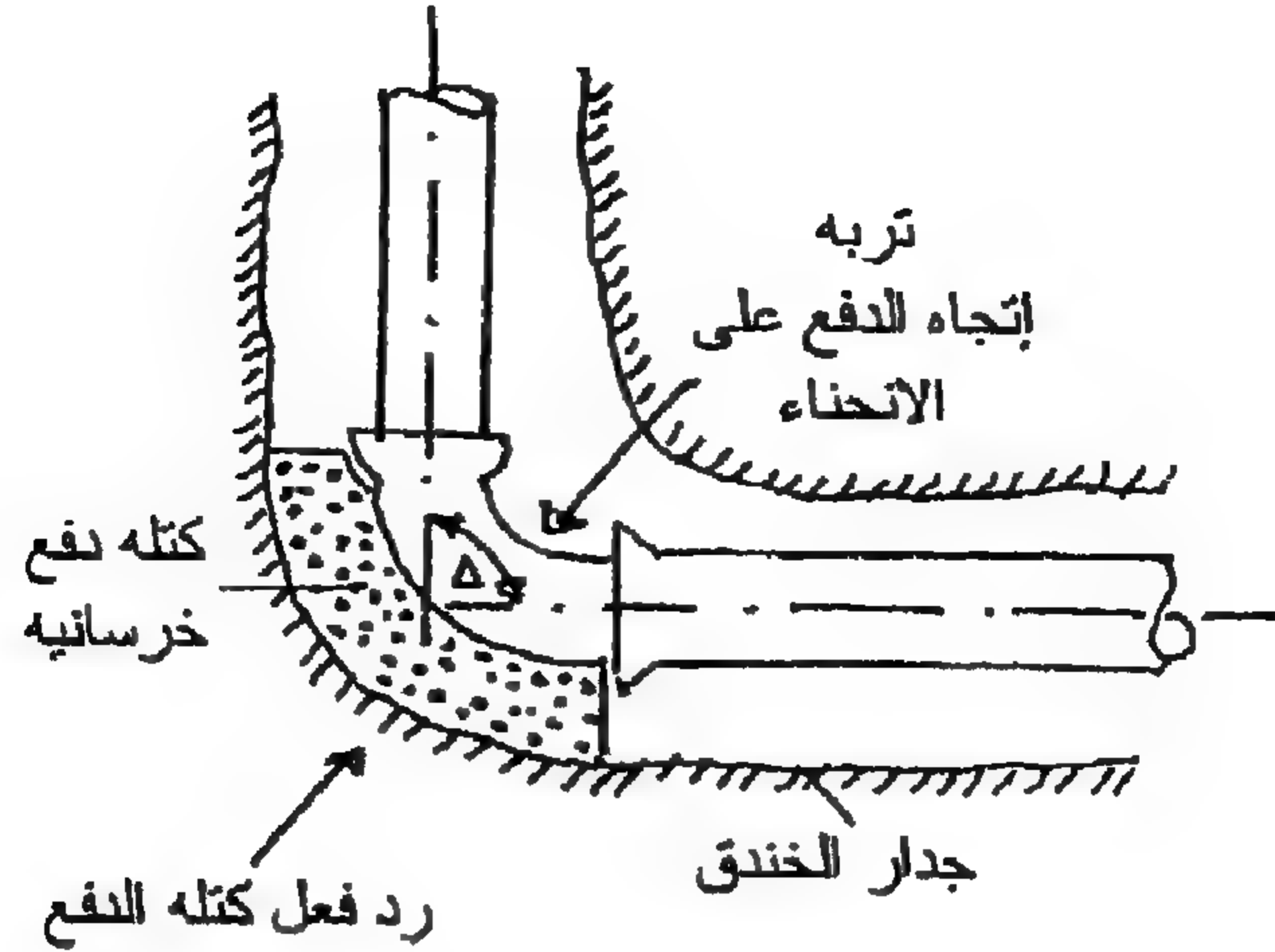
يتم تطبيق المعادلة :

$$Q_L = \frac{٥٠ \times ٣٠٥ \times \frac{1}{2} (١٠٠٠)}{٣٢٦} = ١٥ \text{ لتر/ساعة}$$

حيث أن التسرب الذي تم ملاحظته ١٠ لتر/ الساعة هو أقل من التسرب المسموح به الذي تم حسابه ١٥ لتر/ الساعة لذلك فإن خط المواسير يكون محكم ضد التسرب بما فيه الكافية.

كتل الدفع : (Thrust Blocks)

يكون من الضروري عادة تثبيت خط المواسير بطريقة آمنة في الخندق عند النهايات الميتة والانحناءات أو عند التغير في الاتجاهات الأفقية أو الرأسية، ذلك بسبب القوة أو الدفع الذي يسببه الضغط الداخلي والطاقة الحركية للتدفق، والتي تميل إلى تحريك الماسورة أو الوصلات. مثل هذه الحركة يمكن أن تتلف الوصلات وتسبب تسرباً شديداً. أحد الطرق لتوفير التثبيت الضروري هو باستخدام كتلة الدفع الخرسانية كما هو موضح في الشكل (٤/١٠).



شكل (٤/١٠) تستخدم كتلة الدفع لارتكاز خط الأنابيب ولمنع حدوث

حركة أو احتمال تفكك وصلة الانحناءات.

في معظم الحالات، الضغط الداخلي يسبب معظم الدفع، الدفع الديناميكي بسبب سرعة التدفق يمكن إهماله. بالنسبة لانحناء في خط المواسير، يمكن حساب الدفع الناتج عن الضغط الاستاتيكي من المعادلة الآتية :

$$F = 2 \times P \times A \times \sin (\Delta/2)$$

حيث : F = قوة الدفع كيلو نيوتن (رطل)

P = ضغط الماء كيلو بار (رطل/ البوصة المربعة).

A = مساحة مقطع الماسورة متر مربع (بوصة مربعة).

Δ = التغير في الاتجاه للماسورة بالدرجات.

مثال :

ماسورة بقطر ١٨ بوصة تحمل المياه تحت ضغط ٨٠ رطل على البوصة المربعة، احسب الدفع الاستاتيكي لانحناء ٩٠° في الماسورة، واحسب مساحة التحمل المطلوبة لكتلة الدفع الخرسانية إذا كانت التربة يمكن أن تتحمل إجهاد ضغط (Bearing Stress) - حتى ٣٠٠٠ رطل/ القدم المربع.

الحل :

أولا : احسب مساحة مقطع الماسورة.

$$٢٥٤ \text{ بوصة مربعة} = \frac{٢١٨}{٤٠} \times \pi = \frac{\pi D^2}{٤} = A$$

والآن استخدم المعادلة

$$F = 2 \times P \times A \times \sin (\Delta/2)$$

$$\therefore F = ٢ \times ٩٠ \text{ جا} \times ٨٠ \times ٢٥٤ \times ٢ =$$

$$= ٣٠٠٠٠ \text{ رطل} = ٠,٧٠٧ \times ٨٠ \times ٢٥٤ \times ٢ =$$

إذا كانت التربة يمكنها أن تتحمل ٣٠٠٠ رطل/ القدم المربع، عندئذ فإن المساحة المطلوبة لكتلة الدفع لنشر القوة خارج التربة الحاملة هي ٣٠٠٠٠ رطل ÷ ٣٠٠٠ رطل/ البوصة المربعة = ١٠ قدم مربع.

التطهير : (Disinfection)

خطوط المواسير الجديدة التي تم إنشاءها يلزم دققها بالماء للنظافة والتطهير قبل وضعها في الخدمة. سرعة الدفع حوالي ١ متر في الثانية (٣ قدم في الثانية) تعتبر كافية لإزالة المخلفات وخلافه التي قد تكون متراكمة في الماسورة أثناء الإنشاء. يتم تطهير المواسير لقتل الكائنات البكتيرية بملء الماسورة بمحلول مركز نسبياً من الكلور لفترة زمنية معينة (٥٠ ملجرام/لتر/ لمدة ٣ ساعات) يتم دفع المياه للغسيل قبل استخدام الخط.

الإصلاح : (Rehabilitation)

استخدام المواد المناسبة وطرق الإنشاء الصحيحة لا يضمن حدوث مشاكل في التشغيل لخطوط المواسير لمدة زمنية غير محددة. التلف والكسر في خط المواسير والتسرب يحدث من أن إلى آخر لأسباب عديدة، حيث يلزم عمل الإصلاحات للتلفيات الطارئة، معظم مرافق المياه لديها خطة عمل للتعامل مع هذه الظروف الطارئة ولديها قطع الغيار والأدوات والمعدات الجاهزة للاستخدام.

التسرب الذي يصعب ملاحظته سريعاً من النقط الرطبة أو (Sunken) في الشارع يمكن تحديدها سريعاً باستخدام قضبان التصنت (Rods of Sounding) التي تقوم بالتكبير الإلكتروني لصوت تسرب المياه. التسرب الصغير نسبياً يمكن إصلاحه بدون توقف ضغط الماء. وهذا لا يحقق فقط استمرار الضخ للمستهلكين ولكن كذلك يمنع حدوث تلوث للشبكة بتسرب المياه الملوثة الجوفية داخل خط المواسير عند توقف الضخ.

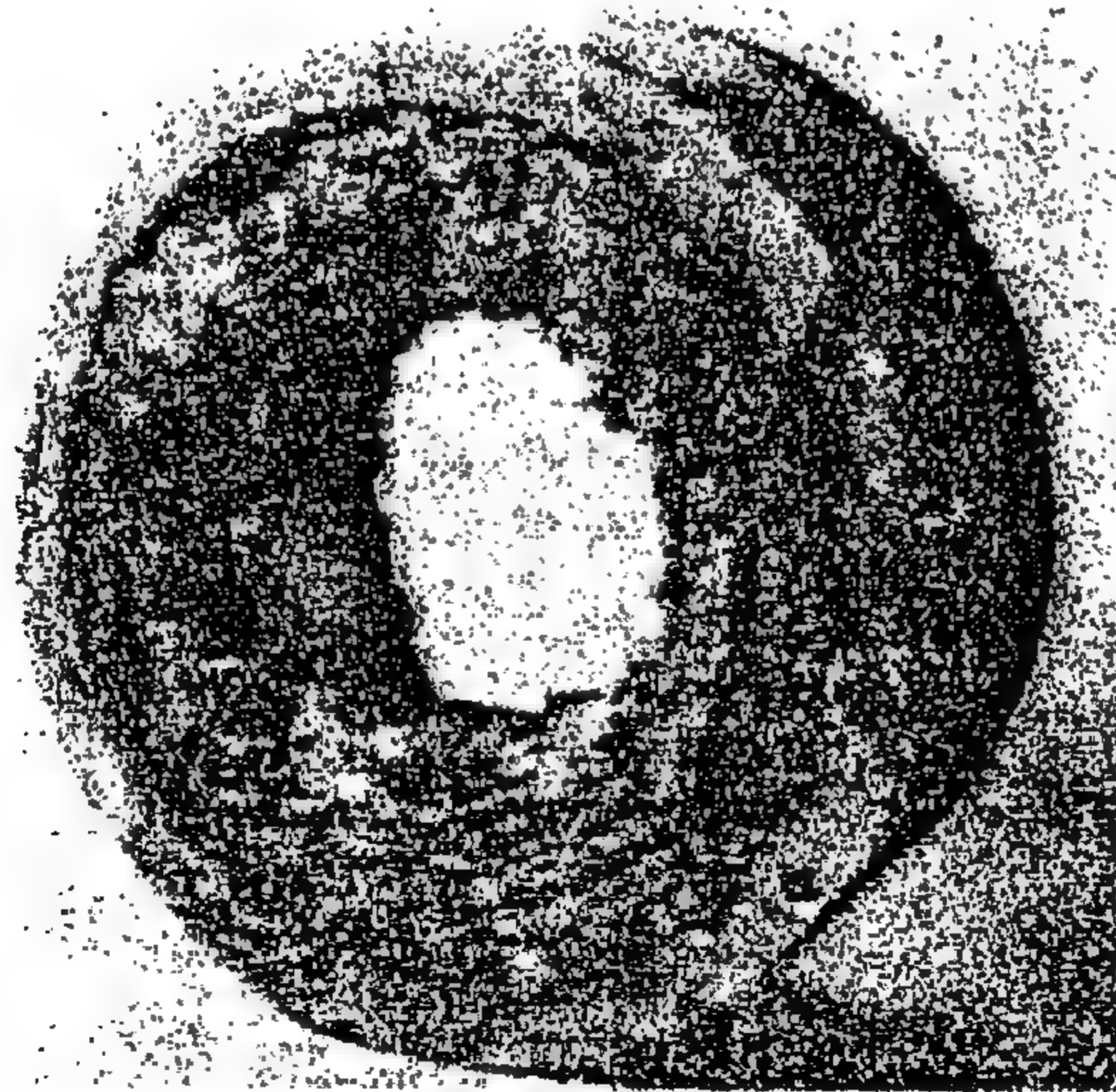
كل المياه يتم ضخها من الخندق المحفور. يتم تركيب قميص أو قفيز فوق مكان التسرب في الماسورة وإحكامه حتى توقف التسرب. يتم دفع الماسورة بالماء المضغوط ثم إعادة اختبارها وتطهيرها بعد عمل الإصلاحات.

النظافة : (Cleaning)

التلوثات والكسور المفاجئة التي تحدث في خطوط المواسير ليست هي المشاكل الوحيدة التي يمكن أن تحدث في شبكة التوزيع. قد يحدث تراكم لترسيبات مفككة في خط المواسير وتحديداً في فروع النهايات الميتة. هذه الرواسب يمكن أن تسبب المذاق والرائحة وكذلك مشاكل بالنسبة للون، حيث يمكن إزالتها بدفق المياه من أن إلى آخر باستخدام حنفيات الحريق.

كثير من خطوط مواسير المياه يعاني من آثار تراكم الرواسب الصلبة التدريجي على الجدار الداخلي للماسورة. كلما زاد زمن خدمة الماسورة كلما زادت حدة هذه المشكلة. هذه الرواسب الموضحة في الشكل (٤/١١) تقلل من الطاقة الهيدروليكية لخط المواسير وتسبب فقداً كبيراً في الضغط، وزيادة تكاليف الضخ كما توجد فرصة لإعادة نمو وتكاثر البكتريا في شبكة التوزيع.

هذه الرواسب يمكن أن تتكون من درنات أو كتل من أكسيد الحديد إذا كان الرقم الهيدروجيني للماء منخفضاً ولا توجد طبقة بطانة لحماية السطح الداخلي للماسورة. وهذه المشكلة تسمى تراكم الدرنات والترسيبات.



شكل (٤/١١) ماسورة تالفة بسبب التراكم الداخلي للرواسب

التي قللت من طاقة الماسورة

عندما يكون الرقم الهيدروجيني (pH) للماء مرتفعاً، فإن الرواسب تتكون من قشور من كربونات الكالسيوم (Scales). المحافظة على استمرار الرقم الهيدروجيني المناسب بما يحقق عدم العدوانية وعدم ترسيب كربونات الكالسيوم يمكن تنفيذه بإضافة الكيماويات عند محطة المعالجة. رغم أن ذلك يمكن أن يقلل من تكون رواسب إضافية، إلا أنه لا يعيد الطاقة المفقودة التي قد حدثت. الطريقة العادية لإصلاح خطوط مواسير المياه القديمة هي بنظافتها باستخدام أداة كشط هيدروليكية أو ميكانيكية. أثناء عملية النظافة يمكن توفير إمدادات المياه إلى المستهلكين باستخدام خط مواسير جانبي مؤقت بقطر صغير أو بالخرطوم. يمكن إزالة الرواسب السميكة باستخدام تجهيزات ميكانيكية. أداة القطع تتكون من ريش دوارة من الصلب مركبة على عديد من وصلات الحمل المثبتة في قضيب مركزي.

نوع آخر من تجهيزات عمل النظافة وهي كتلة معدنية في شكل قذيفة مطاطية تسمى (Pig) وهي يتم لفها بواسطة شرائط في شكل حلزوني. الدفع يتم بواسطة ضغط الماء خلال خط المواسير، هذه الكتلة المعدنية تعمل على كشط الرواسب من الجدار الداخلي للماسورة. يتم إدخالها في الخط إما خلال حنفية الحريق أو بواسطة قاذف خاص. يتم عمل عدة مرات من مرور (Pig) لإزالة كل الرواسب بعد ذلك يتم دفع وتطهير الخط قبل إعادة دخوله في الخدمة.

التبطين : (Lining)

المواسير المنشأة حديثاً سواء كانت من الزهر الرمادي (غالباً) أو من الصلب تكون مبطنة بالمونة الأسمنتية لحماية السطح الداخلي للماسورة من التآكل وحدوث الترسبات. ولكن كثيراً من مواسير المياه الحديدية التي أنشئت في الماضي ليس بها هذه البطانة الأسمنتية. عند نظافة هذه المواسير وإزالة الرواسب يصبح من الضروري عمل طبقة بطانة لمنع حدوث مشكله التآكل والترسبات. أحد طرق الصيانة هذه تسمى التبطين المنزلق (Sliplining)، ويشمل وضع ماسورة بلاستيك داخل الماسورة النظيفة، ماسورة البلاستيك ذات القطر الأصغر قليلاً عن القطر الداخلي الأصلي للماسورة، يتم دفعها خلال مقاطع مستقيمة من مواسير النقل. طريقة أخرى لحماية الجدار الداخلي للماسورة النظيفة هو باستخدام التبطين بالمونة الأسمنتية للماسورة في الموقع. بالنسبة للمواسير ذات أقطار أقل من ٦٠ سم، يمكن ضخ المونة الأسمنتية بواسطة خرطوم إلى ماكينة تبطين التي يتم

دفعها خلال خط المواسير. المونة الأسمنتية يتم رشها بالطرد المركزي على جدار الماسورة، سمك طبقة البطانة يمكن ضبطه بالسرعة التي يتم بها دفع الماكينة خلال الماسورة. يفضل سمك طبقة البطانة ليكون ٦ ملمتر أو أقل، وذلك لعدم الخفض الكبير في القطر الداخلى للماسورة. بالنسبة للمواسير ذات قطر أكبر من ٦٠ سم يمكن للعامل أن يدخل داخل الماسورة ومعه معدة التبتين.

النظافة والتبتين يمكن بهما إصلاح خط المواسير، وزيادة طاقة التحميل وخفض الفقد في الضغط. ولكن عند استخدام هذه الطريقة يجب مراعاة عدم حدوث أى تلفيات للماسورة. خط المواسير الذى حدث به تلف وحدث به العديد من الكسور والتسرب للمياه يمكن استبداله كلية بخط مواسير جديد. خطوط المواسير الخرسانية الضخمة يمكن تبطينها بماسورة من البلاستيك لاستعادة قدرتها الإنشائية مع أدنى فقد في الطاقة. يكون من الضروري مقارنة اقتصاديات الاستبدال الكامل مقابل النظافة والتبتين. في حالة زيادة الطلب على المياه في المنطقة، قد يلزم خطوط مواسير جديدة، الإصلاح فقط قد لا يكون كافياً لتوفير متطلبات المياه.

٣- طلمبات الطرد المركزي : (Centrifugal Pumps)

الطلمبة هي تجهيزة ميكانيكية تضيف طاقة للماء أو للسوائل الأخرى، في معظم نظم توزيع المياه، تكون الطلمبات مطلوبة لرفع المياه إلى الارتفاعات ولدفع المياه خلال شبكة مواسير المياه تحت الضغط. أحد الطرق لتصنيف الطلمبات هو طبقاً لاستخدامها في مجال نقل وتوزيع المياه. الطلمبات التي ترفع المياه من المجرى المائى أو البحيرة تسمى طلمبات الرفع الواطى (Low lift Pumps) وهذه تحرك كميات ضخمة من المياه ولكن عند ضغط تصريف منخفض نسبياً. الطلمبات التي تقوم بصرف مياه الشرب المعالجة إلى خطوط النقل والتوزيع تسمى طلمبات الرفع العالى (High Lift Pumps)، وهذه تعمل عند ضغط مرتفع نسبياً.

أحياناً يكون من الضروري زيادة الضغط في شبكة التوزيع أو رفع المياه إلى خزان علوى، يمكن استخدام طلمبات التقوية لهذا الغرض (Booster Pumps). طلمبات الآبار ترفع المياه من الخزان الجوفى تحت سطح الأرض وعادة يتم صرفها في شبكة التوزيع مباشرة. طريقة أخرى لتقسيم الطلمبات هي طبقاً للطريقة الميكانيكية التي تعمل بها. النوعين الأساسيين هما الطلمبات موجبة الإزاحة، وطلمبات الطرد المركزي (Positive Displacement and Centrifugal Pumps). الطلمبة موجبة الإزاحة تقوم بدفع كمية معينة

من المياه مع كل دورة لكباس الطلمبة. يتم دفع المياه أو إزاحتها من غلاف الطلمبة طبيعياً. طاقة الطلمبة لا تتأثر بالتغيرات في الضغوط في النظام الذي تعمل فيه. طلمبات الطرد المركزي هي أكثر الطلمبات استخداماً في نظم إمدادات المياه (وكذلك مياه الصرف). طاقة الطلمبة هي بدلالة الضغط الذي تعمل ضده في النظام. طلمبة الطرد المركزي تضيف طاقة إلى الماء من خلال إسراعها وتعجيلها بفعل دافع سريع الدوران.

يتم دفع المياه إلى الخارج بواسطة ريش الدافع ومرورها خلال غطاء الطلمبة ذو الشكل الحلزوني، حيث يتم إبطاء سرعتها بالتدريج. مع هبوط سرعة المياه في الغلاف الحلزوني الممتد فإن الطاقة الحركية للمياه تتحول إلى ضغط (Pressure Head) أي العلو الضغطي الذي يزداد بارتفاع عامود السائل، وهذا يسمى ضغط التصريف (Discharge Pressure).

يمكن تقسيم طلمبات الطرد المركزي إلى قسمين وهما ذات التدفق المحيطي (Radial Flow) وذات التدفق المحوري (Axial Flow). نوع التدفق المحيطي يتم صرف المياه عند زاوية قائمة بالنسبة لاتجاه تدفق المياه إلى دافع الطلمبة، وفي التدفق المحوري يتم صرف المياه في نفس اتجاه محور الدافع، طلمبات الطرد المركزي ذات أكثر من دافع واحد تسمى الطلمبات التربينية (Turbine Pumps).

طلمبات الطرد المركزي لها عديد من المزايا تفوق طلمبات الإزاحة الموجبة. فهي طلمبة بسيطة ذات جزء متحرك واحد - الدافع، ليست هناك حاجة لمحابس داخلية كما لا توجد حاجة للتزييق الداخلي، كذلك فإنها تعمل بهدوء شديد، العيوب تشمل تأثير الضغط على خرج الطلمبة والكفاءة، وضرورة التحضير للطلمبة قبل تشغيلها. التحضير يشمل ملأ غلاف الطلمبة وخط السحب بالماء.

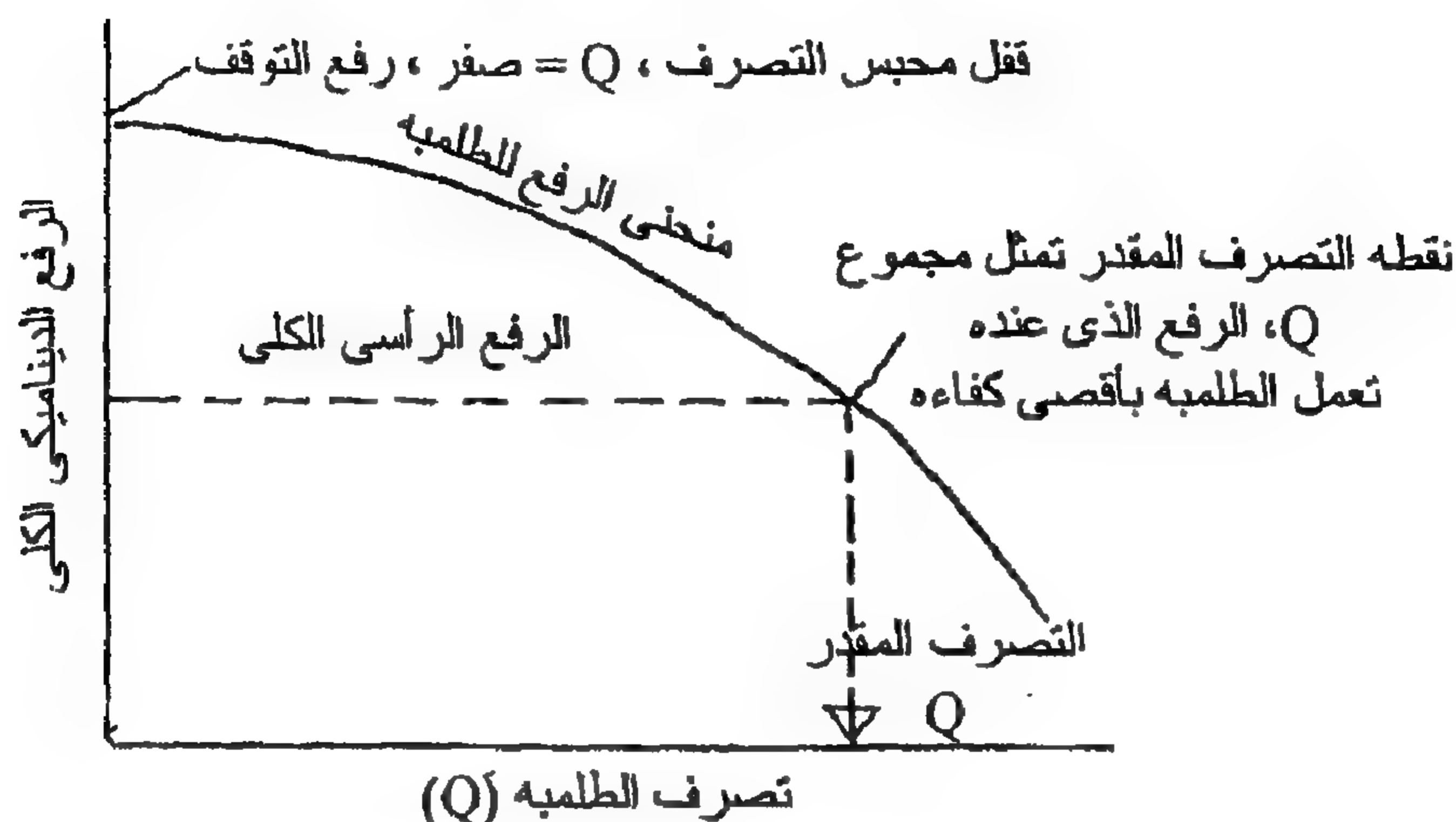
خواص الطلمبة :

خواص الأداء أو الكفاءة لطلمبة الطرد المركزي تعرف العلاقة بين التصريف أو معدل التدفق، ضغط التصريف الرأسي الذي تعمل ضده الطلمبة، ومتطلبات الطاقة، وكفاءة العمل. هذه الخواص تتوقف على القطر، السرعة، شكل الدافع (الدافعات) خلال غطاء الطلمبة. وهذه تختلف لكل نموذج للطلمبة.

منحنى ضغط الطلمبة (Pump Head Curve)

صانع الطلمبات يوفر البيانات في كتالوج لوصف خواص الكفاءة وأداء الطلمبة، هذه البيانات عادة تكون في شكل مخطط. نموذج لهذا المخطط يوضح العلاقة بين معدل التدفق والضغط الرأسي الكلي لطلمبة الطرد المركزي لسرعة ثابتة وقطر ثابت للدافع، موضح

في الشكل (٤/١٢). وهذا يسمى منحنى ضغط الطلمبة. الضغط الرأسي يتم توقيعه على المحور الرأسي في الشكل (٤/١٢) وهذا يسمى الضغط الديناميكي الكلي، ويعبر عنه بالأمتار (الأقدام) من الماء. يتوقف الضغط الديناميكي الرأسي على شكل النظام الذي تقوم الطلمبة بالتصريف فيه ومعدل التدفق. معدل التدفق أو التصريف (Q) يتم توقيعه على المحور الأفقي ويعبر عنه باللتر في الثانية أو بالجالون في الدقيقة.



شكل (٤/١٢) منحنى التصريف والرفع لطللمبة الطرد المركزي.

ينخفض التصريف مع زيادة الرفع أو الضغط على الطلمبة.

منحنى ضغط الطلمبة يبين بوضوح أن معدل تصرف الطلمبة هو دلالة للضغط الكلي الذي تعمل الطلمبة ضده وأن طلمبة طرد مركزي معطاة يمكن أن تعمل خلال مجال كبير من قيم (Q) الضغط الديناميكي الكلي. التصريف يقل مع زيادة الضغط الديناميكي الكلي. عملياً، كلما كانت صعوبة عمل الطلمبة لتحريك المياه كلما قلت قدرتها على التصريف في وحدة الزمن. وصف حالات التشغيل لطللمبة الطرد المركزي يجب دائماً أن تحدد قيمة Q وما يقابلها من قيمة الضغط الديناميكي الرأسي. طلمبة الطرد المركزي التي تعمل حيث محبس تصرفها مقفل سوف تبني أقصى ضغط تصرف الذي يسمى ضغط القفل (Shut off Head). عند ضغط القفل، يكون التصريف صفر، ولكن الدافع الدوار يضيف طاقة للمياه التي تدور خلال غلاف الطلمبة وهذا يشكل ضغط زائد، عند الفتح التدريجي للمحبس وبدء تدفق المياه، فإن الضغط الرأسي ينخفض، كما يبينه منحنى ضغط الطلمبة. عند الفتح الكامل للمحبس فإن الطلمبة سوف تعمل عند تصرف ضغط ديناميكي كلي الذي يناظر ذلك للنظام الذي تعمل فيه الطلمبة.

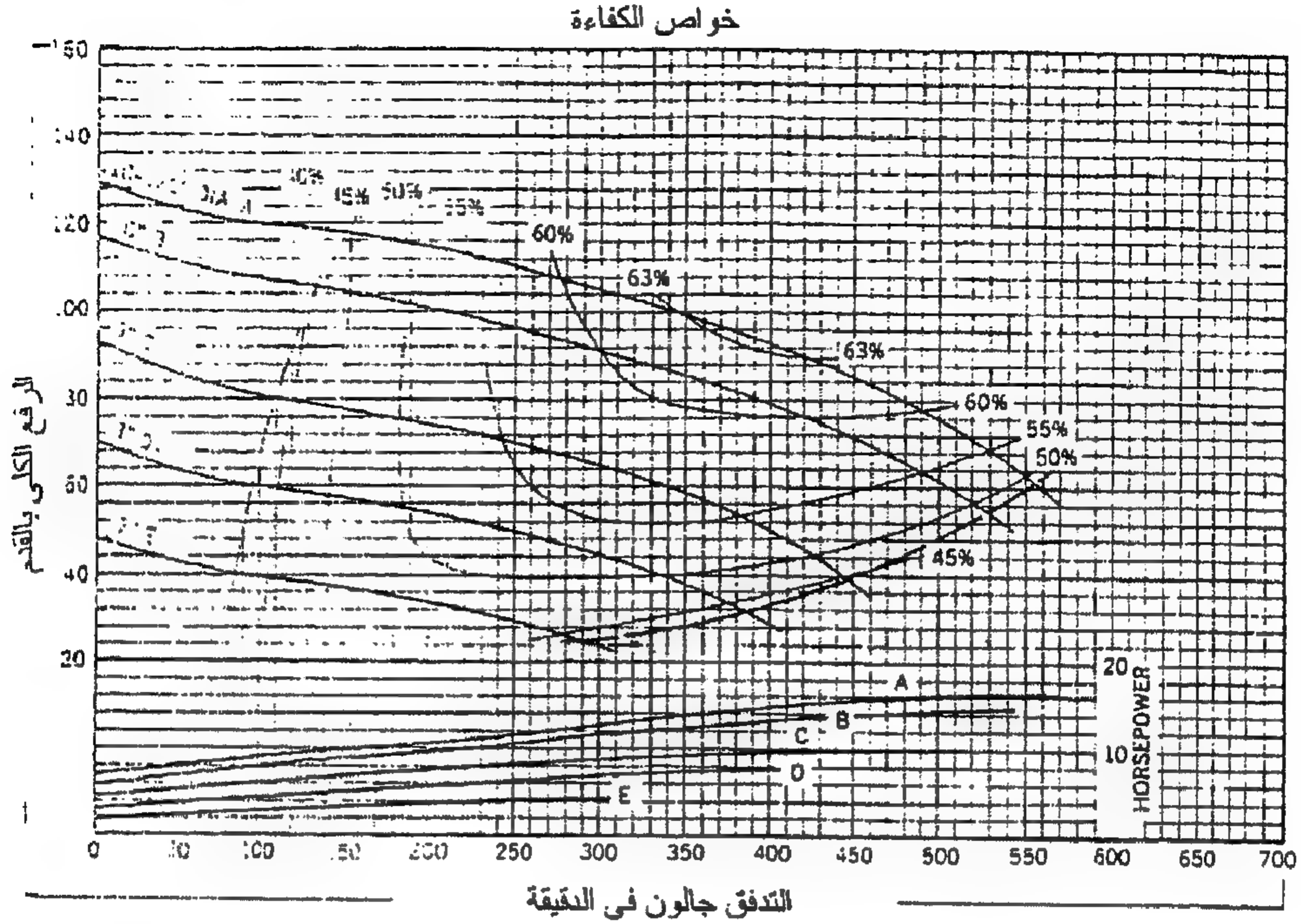
منحنيات ضغط الطلمبة أو منحنيات الضغط - التصريف كما تكون التسمية أحيانا، يتم تعيينها بواسطة صانع الطلمبة طبقا لحالات الاختبار في المصنع. أثناء الاختبار، يتم كذلك قياس الطاقة وخواص الأداء والكفاءة للطلمبة، مثل أى تجهيزة ميكانيكية أخرى، فإن طلمبة الطرد المركزي لا يمكن أن تعمل عند كفاءة ١٠٠%. يوجد دائما مياه دوارة مع الدافع الدوار في غلاف الطلمبة. بما يسبب فقد في الطاقة. وهذا يسمى التفويت (Slip)، كلما زاد التفويت في الطلمبة كلما قلت كفاءتها.

تتوقف كفاءة طلمبة الطرد المركزي على التصريف وإجمالي الضغط الديناميكي. عند ضغط القفل ($Q = 0$ صفر) تكون الكفاءة صفرا لأن الطاقة لتشغيل الدافع تكون مفقودة كلية (في شكل حرارة)، لا يوجد شغل طبيعي يتم عمله بواسطة الطلمبة التامة الخلق. مع السماح بزيادة التصريف فإن كفاءة الشغل سوف تزداد إلى أقصى قيمة ثم تبدأ في الانخفاض. الجمع لكل من التصريف (Q) والضغط الديناميكي الرأسى الذى عنده يتم قياس أقصى كفاءة يسمى طاقة التصريف الطبيعى للطلمبة. الطاقة الطبيعية يمكن توضيحها على منحنى الضغط للطلمبة بعلامة كما هو مبين في الشكل (٤/١٢).

عادة صناع الطلمبات يبينوا الكفاءة واستهلاك الطاقة، خلال مجال للتدفقات وسرعات الدافع و/أو الأقطار، على مخطط مع منحنى ضغط الطلمبة. مثال لمنحنيات مجموعة خواص الطلمبة موضح في الشكل (٤/١٣).

سرعة الدافع (Impeller Speed)

بالنسبة لطلمبة طرد مركزي، يكون المطلوب أحيانا تغيير سرعة الدوران للدافع مع السرعة المتغيرة للمحرك. يتغير تصرف طلمبة الطرد المركزي مباشرة مع سرعة الدافع، ضغط التصريف يتغير مباشرة مع مربع سرعة الدافع. بمعنى آخر في حالة مضاعفة سرعة الدافع فإن التصريف يتضاعف ويزداد ضغط التصريف بمعامل أربعة. هذه العلامة تسمى قوانين الصلة أو الانحدار (Affinity Laws)، يمكن التعبير عنها كالاتى :



شكل (٤/١٣) مجموعة من منحنيات مختلف أنواع طلمبات الطرد المركزي والتي تشمل بيانات عن طاقة الرفع، الكفاءة، احتياجات الطاقة لمختلف أحجام الدافع.

$$(١) \quad \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$(٢) \quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

حيث :

Q_1, Q_2 = تصرفات الطلمبة لتر/ ثانية (جالون في الدقيقة).

H_1, H_2 = الضغط الرأسى لتصرف الطلمبة متر (قدم).

N_1, N_2 = سرعات دافع الطلمبة، اللفات في الدقيقة.

مثال :

بيانات التصنيع لطلمبة طرد مركزي أظهرت أن الطلمبة يمكنها صرف ٠٠ لتر في الثانية عند ضغط تصرف ٢٥ متراً عندما تكون سرعة الدافع ١٥٠٠ لفة في الدقيقة، ما

هو تصرف الطلمبة المتوقع وضغط التصريف إذا زادت سرعة الدافع إلى ٢٠٠٠ لفة في الدقيقة.

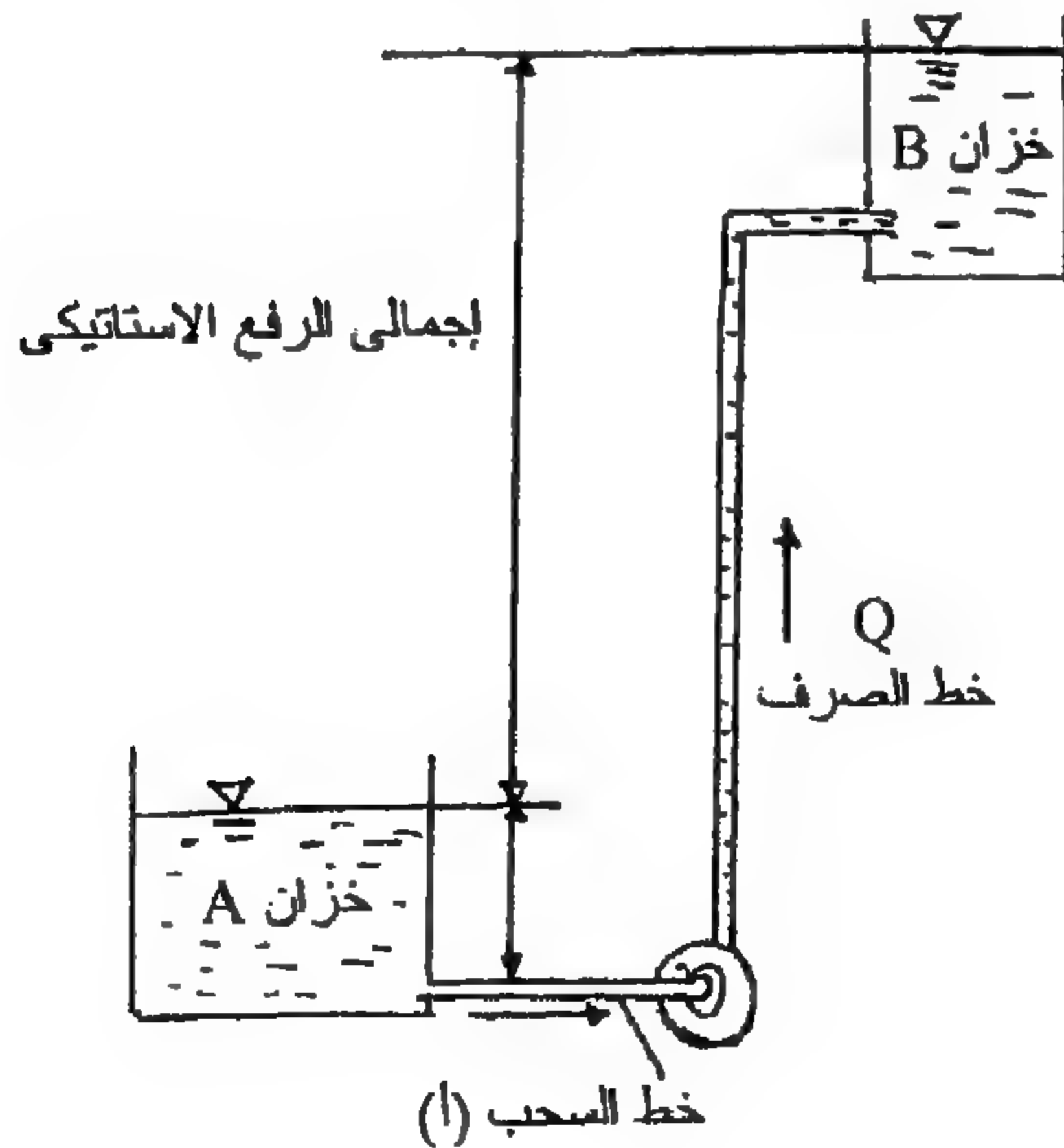
الحل : باستخدام المعادلة (١)، (٢)، نجد أن :

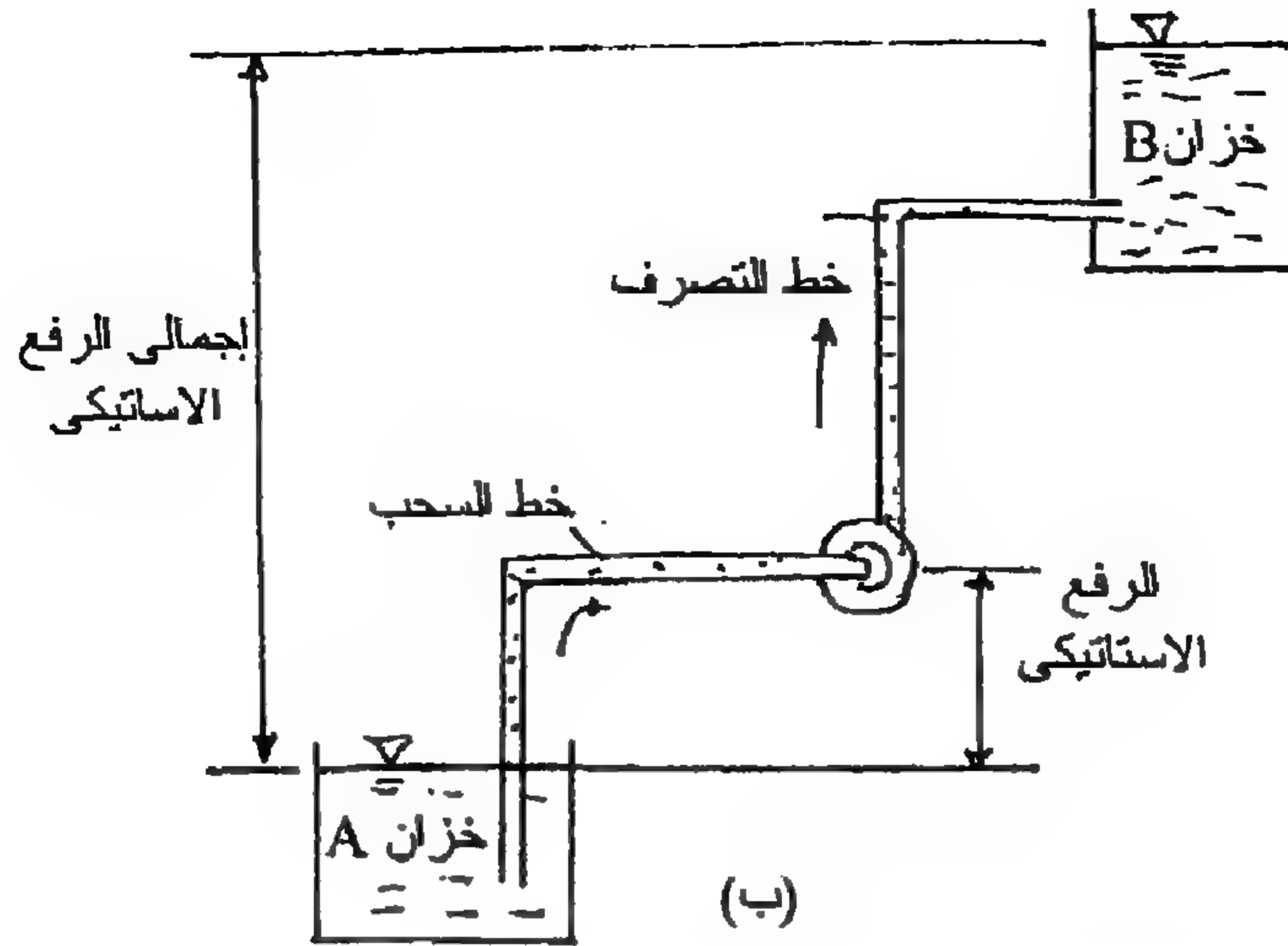
$$\frac{Q_1}{100} = \frac{2000}{1500} \text{ و } Q_1 = 130 \text{ لتراً في الثانية}$$

$$\frac{H_1}{25} = \frac{(2000)^2}{(1500)^2} \text{ و } H_1 = 40 \text{ متراً}$$

خواص النظام : (System Characteristics)

كلمة النظام هنا نعني بها شبكة المواسير المتقاطعة، خزانات التوزيع، المحابس، المهمات الأخرى المتصلة بالطلمبة. المواسير من مصدر المياه إلى مدخل الطلمبة تسمى خط السحب. في أحد النظم تكون الطلمبة موضوعة أسفل منسوب المياه على جانب السحب (Suction Side) كما هو موضح في الشكل (١٤/٤-أ). المسافة الرأسية بين منسوب المياه ومحور الطلمبة تسمى الضغط الاستاتيكي لسحب الطلمبة (Static Suction Head) وهذا تنظيم جيد لأن ضغط السحب سيكون دائماً محافظاً على تحضير الطلمبة وخط السحب أو بمعنى آخر يكون مملوءاً بالماء وجاهزاً للتشغيل.





شكل (٤/١٤) في المخطط (أ) الماء في الخزان (A) فوق الطلمبة، بسبب حالة رفع بالسحب، في المخطط (ب) الماء في الخزان (A) أسفل الطلمبة بسبب رفع السحب الاستاتيكي. إجمالي الرفع الاستاتيكي يكون دائماً المسافة الرأسية بين أعلا وأسفل أسطح الماء، بصرف النظر عن حالات خط السحب.

عندما يتم إعداد النظام بحيث تكون الطلمبة فوق منسوب المياه على جانب السحب، عندئذ تكون المسافة الرأسية بين سطح الماء ومحور الطلمبة تسمى رفع السحب الاستاتيكي (Static Suction Lift). أقصى ارتفاع نظري الذي يمكن أن يرفع إليه عامود الماء بواسطة الطلمبة هو حوالي ١٠ متر (٣٣ قدم) عند مستوى سطح البحر. وهذا يعادل الضغط الجوي القياسي. ولكن عند الحالات الديناميكية أي عند تشغيل الطلمبة ووجود تدفق في النظام فإن رفع السحب يكون محدوداً لأقصى ارتفاع حوالي ٥ متر (١٦ قدم)، هذا لأن مقاومة الاحتكاك للتدفق في خط السحب الذي يجب أن تعمل الطلمبة كذلك ضده. شكل النظام مع رفع السحب الاستاتيكي موضح في الشكل (٤/١٤ ب). في حالة رفع السحب، عادة يتم تركيب محبس قدم في خط السحب للمحافظة على استمرار التحضير للطلمبة. هذا عبارة عن محبس عدم رجوع الذي يسمح بتدفق المياه في الماسورة وليس خارجها. بدون محبس عدم رجوع سوف تتدفق المياه خارج خط السحب عندما لا تكون الطلمبة في التشغيل. طلمبة الطرد المركزي التي تفقد مياه التحضير لأي سبب يجب أن يعاد ملء غلافها وخط السحب بالماء ليتمكن أن تعمل. يمكن عمل ذلك يدوياً أو آلياً للطلمبات ذات التحضير الذاتي.

المسافة الرأسية بين سطح المياه الحر على جانب السحب وجانب الصرف للطلبة تسمى إجمالى الضغط الاستاتيكي (Total Static Head). كما هو موضح فى الشكل (٤/١٧) الذى يمثل التغير الحقيقى فى ارتفاع المياه الجارى ضخها. ولكن عندما تكون الطلبة فى حالة تشغيل وتحرك الماء خلال النظام (حالة ديناميكية تعارض حالة توقف التدفق أو الحالة الاستاتيكية)، يجب على الطلبة كذلك أن تتغلب على مقاومة الاحتكاك للتدفق.

نظام منحنى الضغط : (System Head Curve)

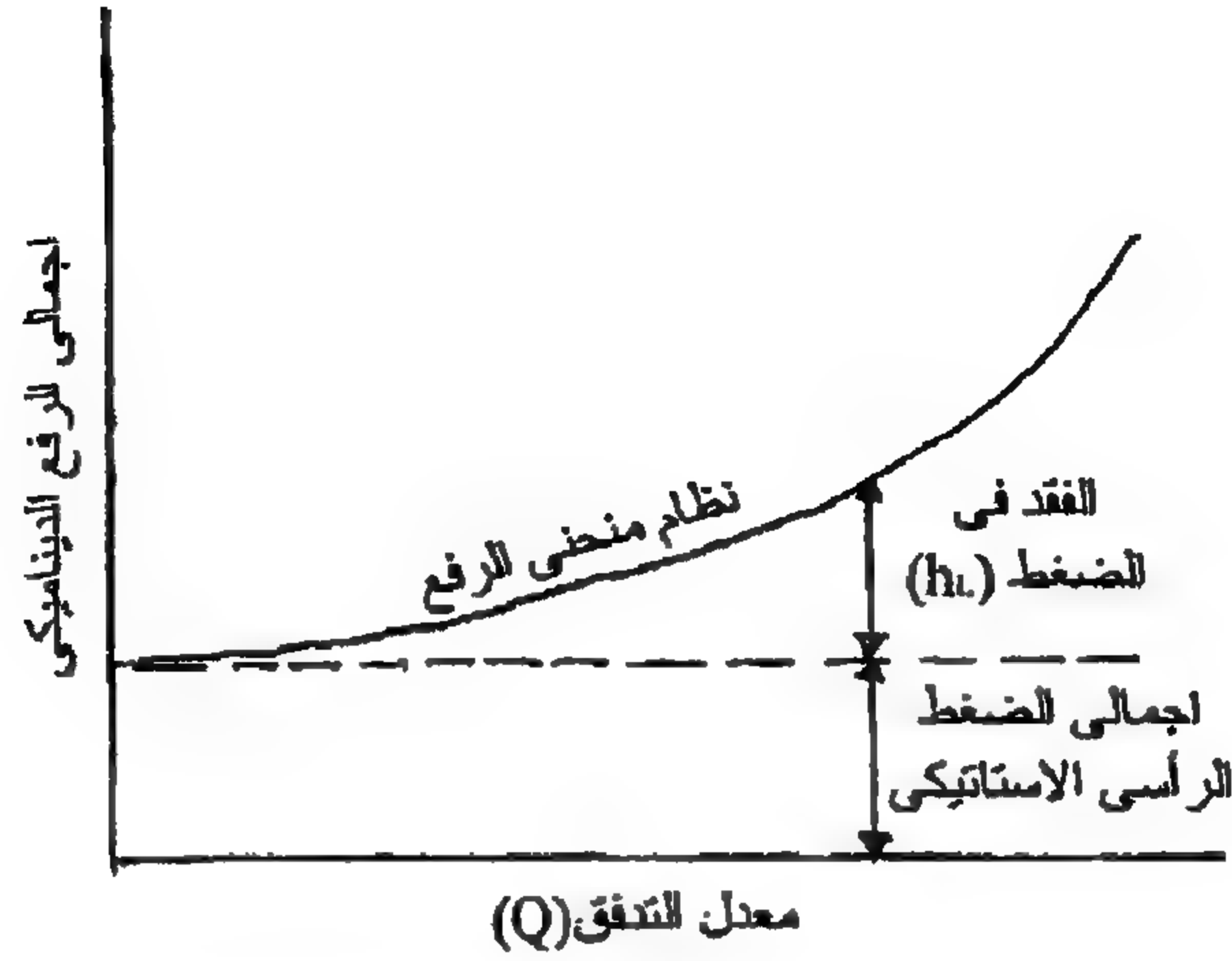
كمية الطاقة المفقودة بسبب الاحتكاك فى النظام هى أساساً دلالة لقطر الماسورة ومعدل التدفق. بالنسبة لقطر ماسورة معين، كلما زاد معدل التدفق كلما زادت مقاومة التدفق والفقد فى الضغط للاحتكاك. بالإضافة إلى إضافة طاقة لرفع الماء وللتغلب على مقاومة الاحتكاك فإن الطلبة تضيف ضغط السرعة إلى النظام عند استخدامها. عند معدل تدفق معين، فإن مجموع إجمالى الضغط الاستاتيكي (Total Static Head) أو (TDH). (فى معظم الحالات يكون ضغط السرعة صغيراً مقارنة بالضغط الاستاتيكي وضغط الاحتكاك حيث يمكن إهمالها). فى الواقع فإن الطلبة تعتبر رافعة للمياه مسافة تساوى إجمالى الضغط الديناميكي (TDH) والتي هى دائماً أكبر من الرفع الاستاتيكي.

إجمالى الضغط الديناميكي هذا هو نفس التعبير الذى سبق استخدامه فى المناقشة السابقة لخواص الطلبة. ولكن الدارس يجب أن يراعى أن إجمالى الضغط الديناميكي أنه من الآن يعتبر من منظور النظام، وليس الطلبة. مخطط إجمالى الضغط الديناميكي كدلالة لمعدل التدفق يسمى منحنى ضغط النظام (System Head Curve). نموذج لمنحنى ضغط النظام موضح فى الشكل (٤/١٥). لاحظ أنه فى النظام فإن إجمالى الضغط الديناميكي يزداد مع زيادة معدل التدفق. هذا عكس تماماً لما يحدث من منظور الطلبة. إجمالى الضغط الديناميكي الذى ضده يمكن أن تعمل الطلبة ينخفض مع زيادة التدفق.

نقطة تشغيل الطلبة : (Pump Operating Point)

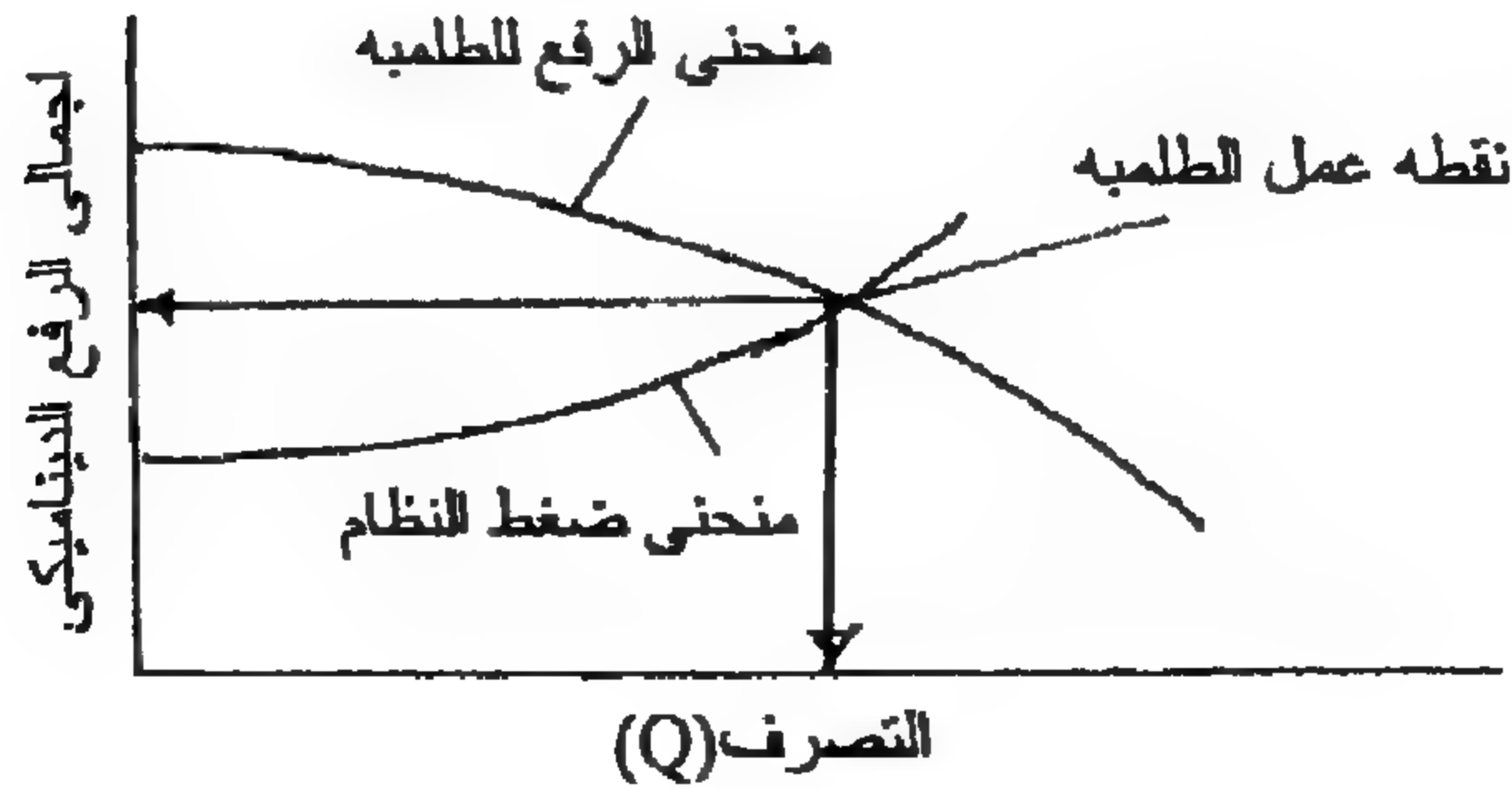
منحنى ضغط الطلبة يعطى صورة للاستجابة الهيدروليكية للطلبة بالنسبة للتغيرات فى معدل التدفق أو فى إجمالى الضغط الديناميكي (TDH). منحنى ضغط النظام يعطى صورة للعلاقة بين معدل التدفق وإجمالى الضغط الديناميكي فى النظام. ولكن عند عمل طلمبة غير مخنوقة بانتظام فى نظام معين (مع إجمالى ضغط استاتيكي ثابت) فإنه توجد فقط نقطة واحدة، أى أنه فقط زوج واحد من قيم Q ، TDH ، الذى عنده سوف تعمل الطلمبة. هذه النقطة يمكن تعيينها جيداً بالرسم، أى برسم كلا من منحنيات ضغط الطلبة

والنظام على مخطط واحد. تقاطع كلا المنحنيين يمثل نقطة التشغيل للطلبة فى نظام معين. وهذا موضح فى الشكل (٤/١٦).



شكل (٤/١٥) نظام منحنى الضغط يوضح التأثير الهيدروليكي لنظام نقل المياه إلى معدلات تدفق مختلفة. توجد مقاومة أعلى للتدفق ولذلك إجمالى رفع ديناميكي أعلى فى النظام لزيادة معدل التدفق

عند اختيار طلمبة للعمل فى نظام معين فإن المصمم يجب أن يختبر منحنى ضغط النظام جنباً إلى جنب مع منحنىات ضغط الطلمبة المعطاة فى كتالوج المنتج. الغرض الرئيسى من اختبار الطلمبة هو لإيجاد الطلمبة التى سوف توفر معدل التدفق المطلوب عند أو قريباً من أقصى كفاءة تشغيل لها. بمعنى أن معدل تصرف الطلمبة سوف يتطابق مع النقطة التى من المتوقع أن تعمل عندها فى النظام. إنه ليس من المناسب اختيار طلمبة ذات طاقة أكبر فى النظام ثم يتم خنق التصرف للحصول على التدفق المطلوب.

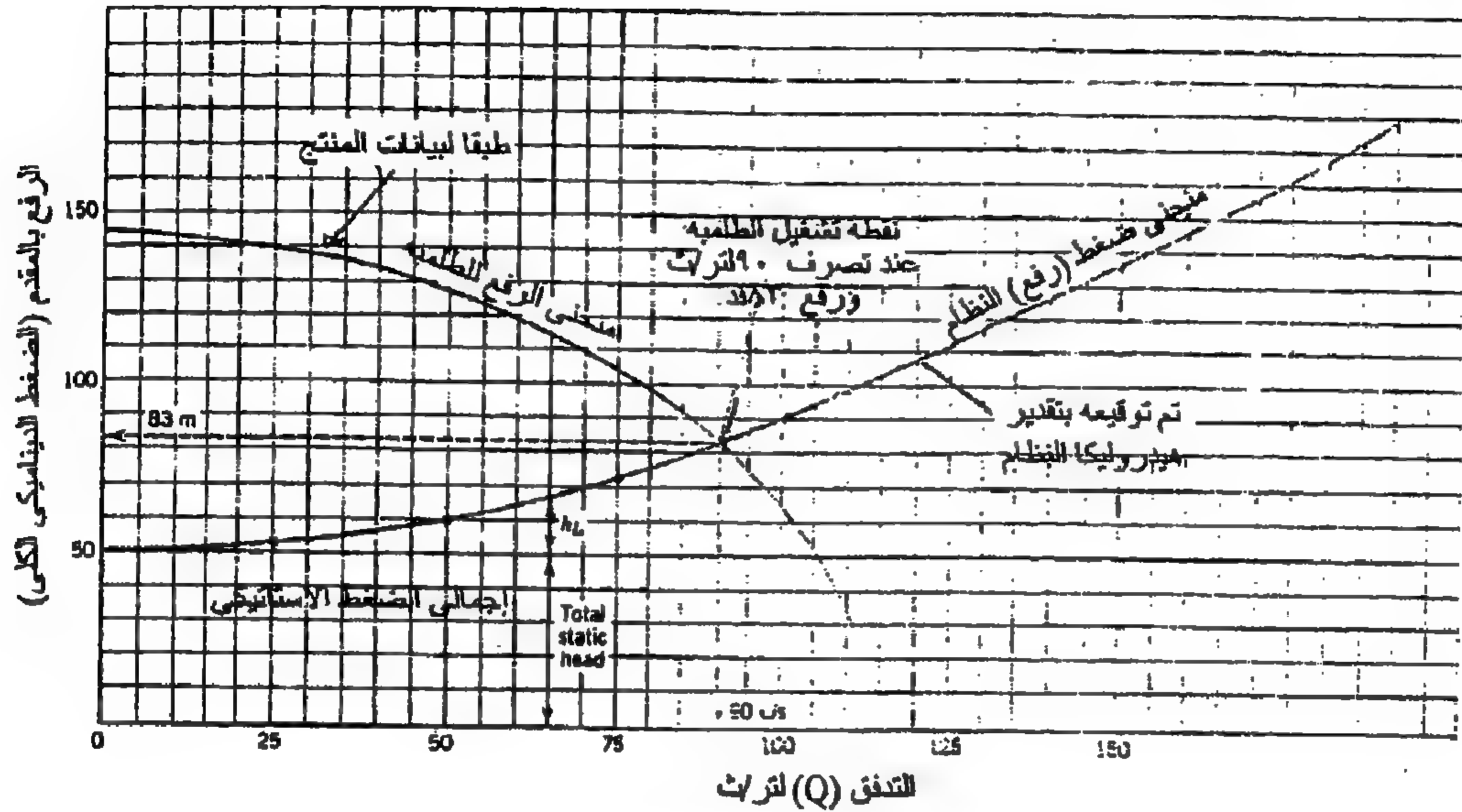


شكل (٤/١٦) تقاطع منحنى الرفع لطللمبة الطرد المركزى ونظام المنحنى فى النظام الذى تعمل فيه يمثل نقطة العمل للطللمبة فى هذا النظام.

المثال الآتي يوضح طريقة تعيين نقطة تشغيل الطلمبة.

مثال : (١)

طلمبة طرد مركزي منحنى الضغط في الشكل (٤/١٧). عين نقطة تشغيل الطلمبة في النظام الذي له إجمالي الضغط الاستاتيكي ٥٠ متر ويشمل ماسورة بطول ٤٥٠٠ متر وبقطر ٣٠٥ ملليمتر.



شكل (٤/١٧) توضيح للمثال

الحل :

منحنى ضغط النظام يجب توقيعه على مخطط في الشكل (٤/١٧) لإيجاد نقطة التشغيل. لعمل ذلك، يتم اختيار عدة قيم للتصرف، والفقد بالاحتكاك عند تلك التصرفات وتعيينها باستخدام مخطط هازن-ويليام (في الفصل الثالث بند ٢).

مع إهمال ضغط السرعة، يتم تعيين الضغط الديناميكي الكلي (TDH) لكل قيم مختارة لـ (Q) بإضافة الفقد بالاحتكاك الذي تم حسابه إلى الضغط الاستاتيكي الكلي. وهذا موجز في الجدول (٤/٢). الفقد في الضغط بالاحتكاك يتم حسابه بالمعادلة

$$L \times S = \text{hr حيث}$$

$$S = \text{ميل خط الانحدار الهيدروليكي HGL}$$

$L =$ طول الماسورة ٤٥٠٠ متر.

إجمالي الضغط الديناميكي (TDH) = ٥٠ متر + h_L عند كل معدل تدفق مختار.

بتوقيع قيم Q وقيم (TDH) من الجدول (٤/٢) يعطى منحنى ضغط النظام، كما هو موضح فى الشكل (٤/١٧). تقاطع منحنى النظام مع منحنى الطلبية المعطى هو نقطة التشغيل للطلبية فى النظام المعطى. وهذه تقرأ من المخطط لتكون ٩٠ لتر/ الثانية. عند إجمالي الضغط الديناميكي (TDH) ٨٠ متر.

جدول (٤/٢) حساب إجمالي الضغط الديناميكي للمثال السابق

Q ، لتر/ث	S ، متر/متر	h_L ، متر	إجمالي الضغط الديناميكي (TDH) ، متر
صفر	صفر	صفر	٥٠
٢٥	٠,٠٠٠,٦٥	٣	٥٣
٥٠	٠,٠٠٠,٢٥	١١	٦١
٧٥	٠,٠٠٠,٥	٢٣	٧٣
١٠٠	٠,٠٠٠,٩	٤١	٩١
١٢٥	٠,٠٠١,٤	٦٣	١١٣
١٥٠	٠,٠٠١,٩	٨٦	١٣٦

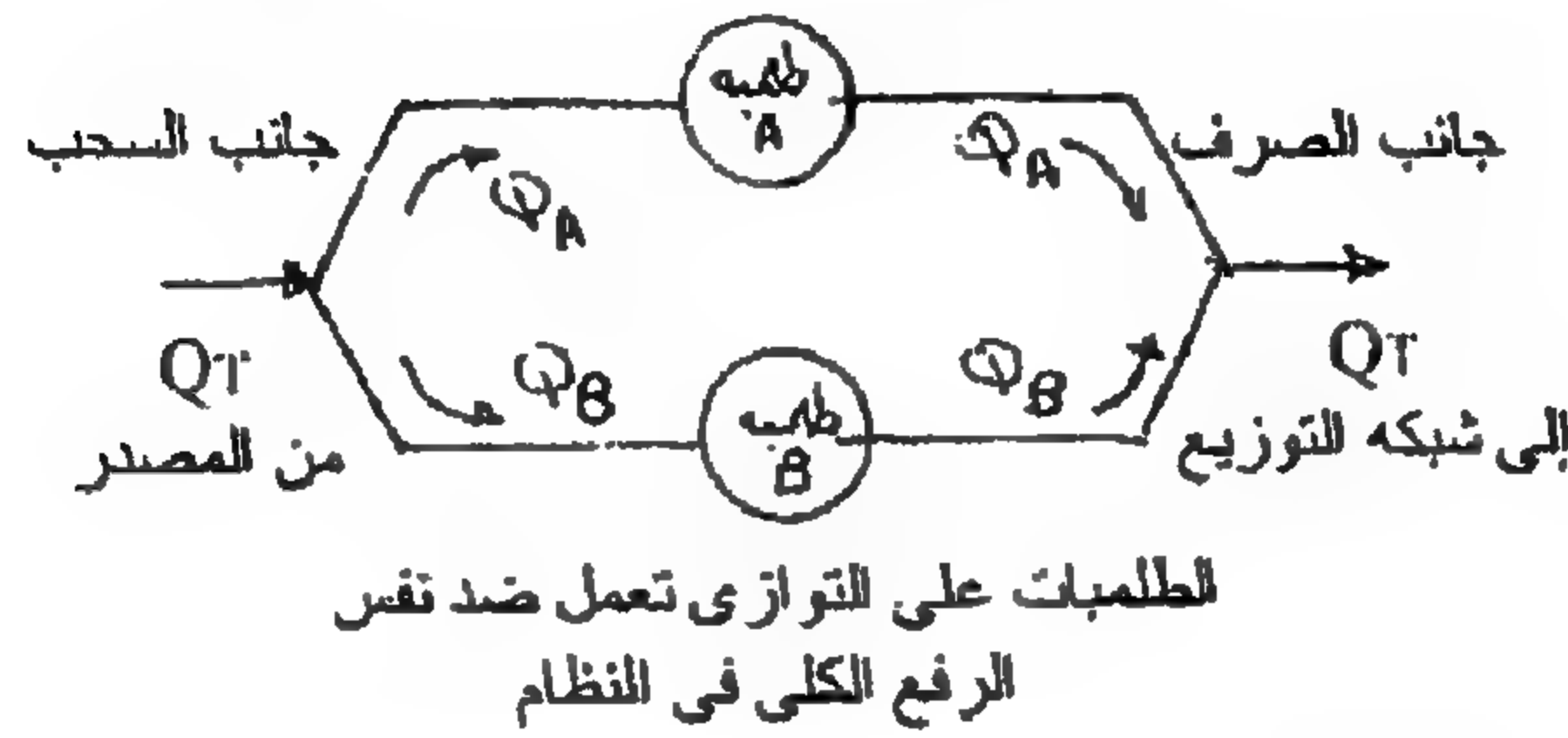
العمل المتوازي : (Parallel Operation)

الطلب على المياه واستخداماتها يتغير على أساس كل ساعة وكل يوم وكل موسم. رغم أن احتياج ساعات الذروة عادة لا يتم كفايتها بالماء من خزانات المياه المحلية، فإنه يظل من الضروري الإمداد للخارج المتغير للطلبية لتغطية التغيرات اليومية أو الاحتياجات الموسمية.

أحد الطرق لعمل ذلك هو باختيار طلبية ضخمة ما يكفى لتداول أقصى تدفق متوقع فى النظام ثم خفض تصرفها بالخنق (Throttling) عندما تقل الحاجة إلى المياه. ولكن هذه طريقة غير مفضلة. ستكون كفاءة عمل الطلبية منخفضة لأن الطلبية نادراً ما ستعمل عند تصرفها الطبيعي. الطريقة الأخرى لتغيير خرج الطلبية هى باستخدام محرك متغير السرعة لتشغيل الطلبية.

بزيادة سرعة دوران الدافع يمكن زيادة تصرف الطلمبة. ولكن المعدة ذات السرعة المتغيرة مكلفة.

الطريقة الثالثة تتضمن العمل المتوازي لطلمتين أو أكثر لاقت استخداماً كثيراً. الطلمبات التى تتصل على التوازي وتصرف فى ماسورة صرف واحدة، وضغط السحب والصرف لكل من الطلمبات هو واحد. التنظيم المتوازي موضح فى الشكل (٤/١٨). العمل المتوازي مفيد لأنه يمكن إيقاف طلمبة أو أكثر عندما يقل الطلب على الماء، بما يسمح بباقى الطلمبات للعمل عند أو قريباً من الكفاءة القصوى.



شكل (٤/١٨) مخطط يوضح طلمبات متصلة على التوازي.

التدفق الكلى هو مجموع كل تصرف من كل من الطلمبتين عند نفس إجمالى الرفع الديناميكى الكلى أو

$$Q_T = Q_A + Q_B$$

كذلك، التوصيل المتوازي يسمح بعمل الصيانة على أحد الطلمبات بدون الحاجة إلى إيقاف كل محطة الضخ.

لتقييم كفاءة الطلمبات المتوازية التى تعمل فى نظام معين، يكون من الضرورى أولاً تعيين وتوقيع منحنى الضغط المشترك للطلمبات. يمكن عمل ذلك ببساطة بإضافة أو جمع منحنيات الضغط لكل طلمبة أفقياً. بمعنى آخر، بالنسبة لقيم مختارة لإجمالى الضغط الديناميكى (TDH) على المحور الأفقى، تضاف قيم التصرف من كل طلمبة وتوقع النتيجة على طول المحور الأفقى. المثال التالى يوضح هذه الطريقة لنظام حيث طلمبتان مستقلتان على التوازي. من المهم ملاحظة أن مجموع التصرف من الطلمبتين ليس ببساطة ضغط التصرف من طلمبة واحدة تعمل منفردة فى النظام.

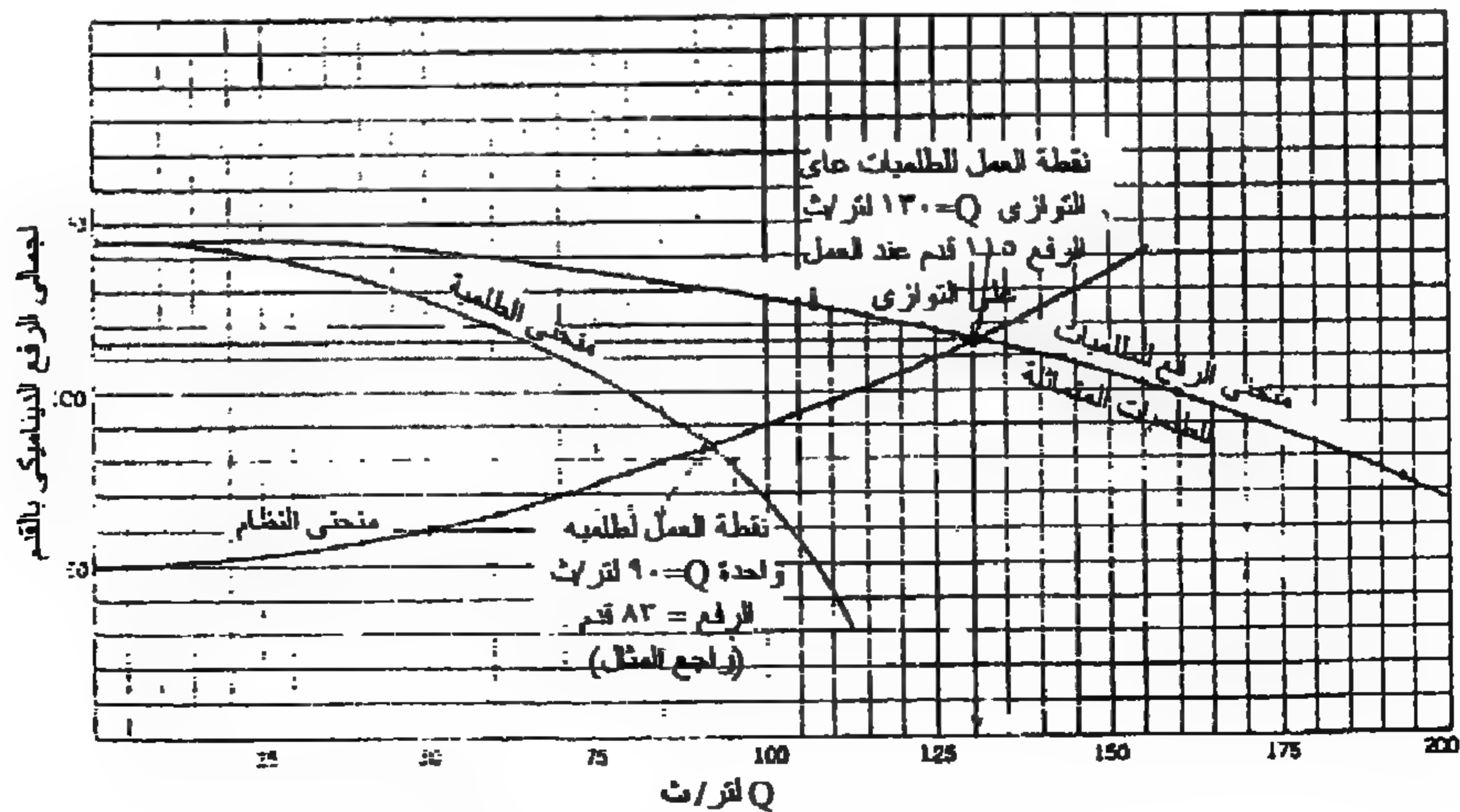
مثال : (٢)

طلمبتان مستقلتان لهما منحنى الضغط موضح فى الشكل (٤/١٧)، متصلتان على التوازي. وضح بمخطط منحنى الضغط المشترك للطلمبتين، وعين نقطة تشغيلهما فى النظام المعطى فى المثال السابق.

الحل :

أولاً يتم تحضير مخطط لمنحنى ضغط الطلمبة لطللمبة واحدة، كما هو مبين فى الشكل (٤/١٧). يتم الاختيار الافتراضى لقليل من قيم إجمالى الضغط الديناميكى، مثل ٧٥ متر، ١٠٠ متر، ١٢٥ متر. بالنسبة لإجمالى الضغط الديناميكى = ٧٥ متراً فإن تصرف الطلمبة يكون ٩٧ لتر/ثانية. لعدد اثنين طلمبة تعملان على التوازي عند نفس إجمالى الضغط الديناميكى ٧٥ متراً فإن مجموع التصرف سيكون $٩٧ + ٩٧$ أو ١٩٤ لتر/الثانية. يتم توقيع نقطة على المخطط ذات إحداثيات $Q = ١٩٤$ لتر/ الثانية، إجمالى الضغط الديناميكى (TDH) = ٧٥ متراً.

إذا كان (TDH) ١٠٠ متر، فإن التدفق من طلمبة واحدة هو ٨٠ لتر/ الثانية ومجموع التدفق من الطلمبتين على التوازي هو ١٦٠ لتر/ الثانية. أخيراً عند ضغط توقف ١٤٤ متراً، سيكون هناك عدم تدفق من أى من الطلمبتين والمجموع سيكون صفر لتر/ الثانية. بتوقيع كل هذه النقط على مخطط ورسم خط رقيق يمر خلال هذه النقط سينتج عنه منحنى الضغط لمجموع الطلمبتين اللتان تعملان على التوازي. وهذا موضح فى الشكل (٤/١٩). منحنى ضغط النظام من المثال رقم (١) يتم كذلك توقيعه على الشكل (٤/١٩). تقاطع مجموع منحنى الضغط مع منحنى النظام يمثل النقطة التى تعمل عندها الطلمبات على التوازي. من هذا المخطط نرى أنه سوف يكون هناك صرف لمجموع تدفق ١٣٠ لتر/ الثانية عند إجمالى الضغط الديناميكى (TDH) ١١٥ متر. كلا من الطلمبتين يساهم بـ ٦٥ لتر/ث من التدفق فى العمل على التوازي بينما طلمبة واحدة تعمل منفردة فى النظام فإنها تصرف ٩٠ لتر فى الثانية.



شكل (٤/١٩) توضيح للمثال

عند توصيل طلمبتين أو أكثر مختلفتين على التوازي، فإن طريقة تعيين منحني مجموع الضغط تشبه لتلك التي سبق وصفها. ولكن مجموع المنحني سوف سيتفرع من منحني الطلمبة الأكثر ضخامة عند قيم أعلى لمجموع الضغط الديناميكي. حتى عند عمل الطلمبة الأصغر، فإنها سوف لا تساهم في أي تصرف عندما يكون إجمالي الضغط الديناميكي في النظام أعلى من ضغط إيقاف الطلمبة. وهذا موضح في المثال التالي.

مثال : (٣)

الطلمبة (A) والطلمبة (B) متصلتان على التوازي في نظام يشمل ماسورة لطول ٨٠٠٠ قدم وبقطر ٨ بوصة ($C = 100$). الضغط الرأسي الكلي للنظام هو ٨٠ قدم. تم توفير بيانات الطلمبة بواسطة المنتج والتي تصف منحنيات ضغط الطلمبة في شكل جدول كما هو موضح في الجدول (٤/٣).

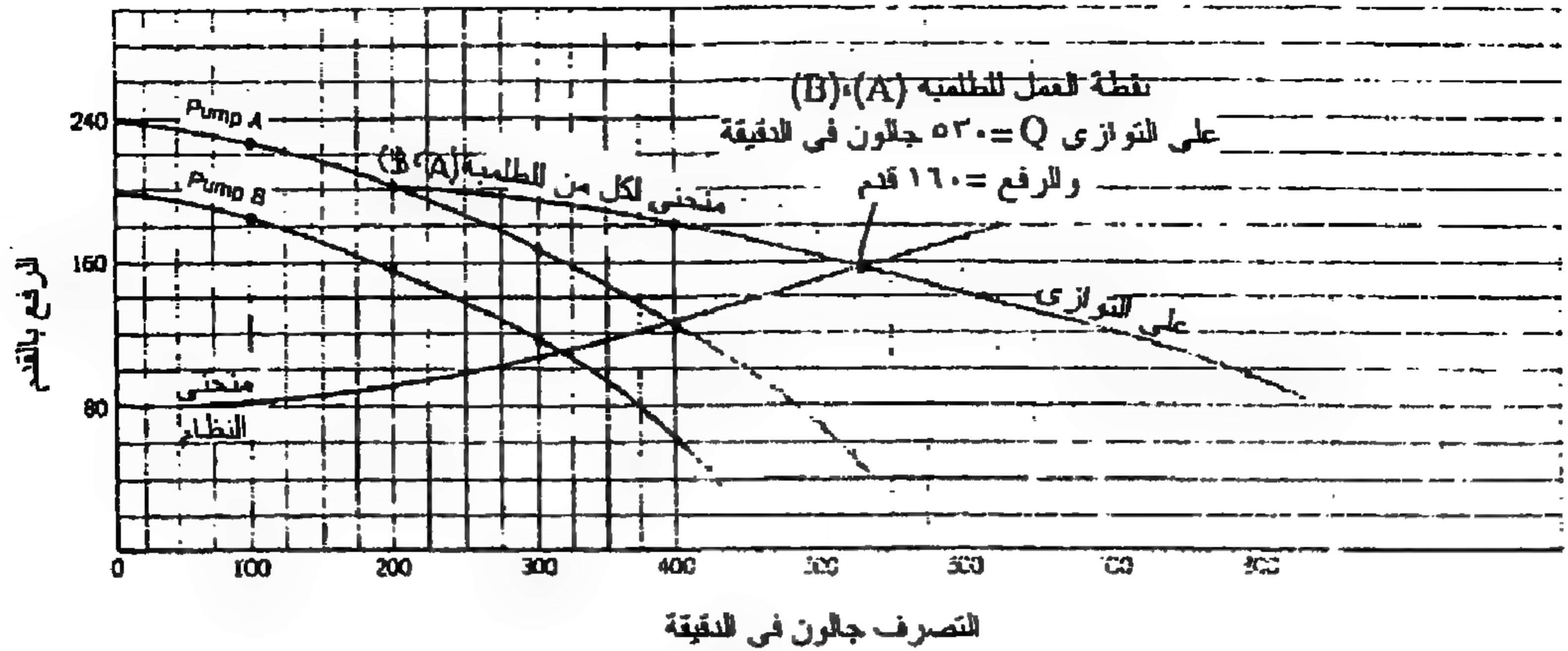
عين نقطة لتشغيل الطلمبات المتوازية في النظام المعطى. ما هي قيمة التدفق الذي تؤديه كل طلمبة.

الحل :

أولاً: يتم توقيع منحنيات ضغط التصرف لكل طلمبة منفردة من البيانات المعطاة في الجدول (٤/٣) كما هو موضح في الشكل (٤/٢٠).

جدول (٤/٣) بيانات تشغيل الطلمبة

إجمالي الضغط الديناميكي بالقدم		التصرف جالون في الدقيقة
الطلمبة B	الطلمبة A	
٢٠٠	٢٤٠	صفر
١٨٥	٢٢٥	١٠٠
١٥٥	٢٠٠	٢٠٠
١١٥	١٦٥	٣٠٠
٦٠	١٢٥	٤٠٠
—	٦٥	٥٠٠



شكل (٤/٢٠) توضيح للمثال

الآن وقع منحنى مجموع الضغط للطلبيتين العاملتين على التوازي، أصف التصرف لكل طلبية عند قيم مختارة قليلة لمجموع الضغط الديناميكي (TDH). لاحظ أنه عندما يكون مجموع الضغط الديناميكي ما بين ٢٠٠ و ٢٤٠ قدم، فإن الطلبية (A) فقط هي التي تقوم بالتصرف في النظام، الطلبية (B) سوف تعمل عند إجمالي الضغط الديناميكي يساوي ضغط التوقف، و $Q = 0$. عندما يكون إجمالي الضغط الديناميكي أقل من ٢٠٠ قدم، فإن كلا الطلبيتين يمكن أن يساهم في التدفق. فمثلاً، عندما يكون إجمالي الضغط الديناميكي ١٠٠ قدم فإن الطلبية (A) تقوم بصرف ٤٥٠ جالون في الدقيقة والطلبية (B) تقوم بصرف ٣٣٥ جالون في الدقيقة ولذلك فإن مجموع التصرف عند إجمالي الضغط الديناميكي $= 100$ قدم سيكون ٧٨٥ جالون في الدقيقة.

الآن وقع منحنى ضغط (رفع) النظام. الحسابات للنظام إجمالي الضغط الديناميكي عند أربع قيم تصرف مختارة موجزة في الجدول (٤/٤).

جدول (٤/٤) حسابات إجمالي الضغط الديناميكي للمثال السابق

Q جالون في الدقيقة	S، متر/متر	h_L ، قدم	TDH، قدم
صفر	صفر	صفر	٨٠
٢٠٠	٠,٠٠١٤	١١	٩١
٤٠٠	٠,٠٠٥٥	٤٤	١٢٤
٦٠٠	٠,٠١٢	٩٦	١٧٦

كما هو واضح من الشكل (٤/٢٠) منحني مجموع الضغط ومنحني النظام يتقاطعان عند $Q = ٥٣٠$ جالون في الدقيقة وإجمالي الضغط الديناميكي (TDH) = ١٦٠ قدم، الذي يمثل حالة الشغل للطلـمبات على التوازي.

من بين إجمالي التصرف ٥٣٠ جالونا في الدقيقة، الطلمبة (A) تساهم بحوالي ٣٣٠ جالونا في الدقيقة والطلـمبة (B) تساهم بحوالي ٢٠٠ جالون في الدقيقة.

القدرة والكفاءة : (Power and Efficiency)

المعدل الذي تصنف به الطلمبة طاقة إلى الماء هو خرج القدرة للطلـمبة، يسمى قوة الماء (Water Power). الطلمبات عادة تدار بالمحركات الكهربائية (عادة مع محركات تدار بالجازولين أو الديزل كإحتياطي عند الاستخدام في حالة انقطاع التيار).

حيث أن الطلمبة (أو أى ماكينة) لا يمكن أن تعمل بكفاءة ١٠٠% فإن قوة الماء تكون دائما أقل من الطاقة المستخدمة في دافع الطلبة بواسطة المحرك. يمكن التعبير عن كفاءة الطلمبة كالآتي :

$$\text{الكفاءة} = \frac{\text{القوة المنتجة}}{\text{القدرة المستخدمة}} \times 100 \times \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right)$$

في الوحدات المترية يمكن التعبير عن القوة بالكيلوات. قوة الماء، القوة المنتجة يمكن حسابها بالمعادلة الآتية

$$P_{out} = 9.8 \times Q \times TDH$$

حيث P_{out} = القوة المنتجة

Q = تصرف الطلمبة متر مكعب/ الثانية

TDH = الضغط الديناميكي الإجمالي بالـمتر

لاحظ أن ٩,٨ هو وحدة الوزن للماء مقدرة بالكيلو نيوتن/المتر المكعب (KN/m³) والقدرة لها وحدات (KN.m/s) والتي هي الشغل في وحدة الزمن. في النظام المتري (1KN.m/S) يسمى واحد كيلوات (1Kw).

مثال :

تصرف طلمبة ٥٠٠ لتر في الثانية بارتفاع ٢٥ متراً. المحرك يوفر قوة ١٥٠ كيلوات للطلـمبة. ما هي الكفاءة التي تعمل عندها الطلمبة؟

الحل :

تحويل ٥٠٠ لتر/ث إلى ٠,٥ متر مكعب/ث واستخدام المعادلة المستخدمة لتقدير الكفاءة.

$$P_{out} (\text{القوة المنتجة}) = 9,8 \times 0,5 \times 25 = 123 \text{ كيلوات}$$

$$\therefore \text{الكفاءة} = 123 \div 150 \times 100 = 82\% \quad (Hp)$$

في الوحدات المترية عادة يعبر عن القوة بقوة الحصان (hp) حيث واحد حصان = ٣٣٠٠٠ قدم رطل/الدقيقة. دخل القوة لعامود إدارة الطلمبة يسمى القدرة الحصانية الفرملية (Brake Horse Power) يمكن حسابها من المعادلة الآتية.

$$P_{out} = \frac{Q \times TDH}{3960}$$

حيث : Q = يعبر عنها بالجالون في الدقيقة

TDH = يعبر عنها بالقدم

القدرة الحصانية يمكن تحويلها إلى الكيلوات بالضرب في ٠,٧٤٦ (حيث ١ حصان = ٠,٧٤٦ كيلوات).

مثال :

طلمبة طرد مركزي بكفاءة ٦٥% تصرفها ١٥٠٠ جالون في الدقيقة في نظام يشمل خط مواسير بطول ٣٠٠٠ قدم وبقطر ١٠ بوصة حيث (C = 100). إجمالي الضغط الاستاتيكي ١٠٠ قدم. احسب القدرة الحصانية الفرملية المطلوبة.

الحل :

أولاً، يتم تعيين إجمالي الضغط الديناميكي على الطلمبة. استخدام مخطط هازن وليام حيث Q = ١٥٠٠ جالون في الدقيقة، القطر = ١٠ بوصة. اقرأ الميل (S) = ٠,٠٢٤.

$$\text{عندئذ } h_f = L \times S = 3000 \times 0,024 = 72 \text{ قدم.}$$

$$\text{إجمالي الضغط الديناميكي (TDH) = } 72 + 100 = 172 \text{ قدم}$$

الآن استخدم المعادلة

$$P_{out} = \frac{Q \times TDH}{3960}$$

$$= 1000 \times 172 \div 3960 = 65 \text{ حصان}$$

$$\text{من المعادلة الكفاءة} = 100 \times \frac{\text{الطاقة المنتجة}}{\text{الطاقة المستخدمة}}$$

$$\therefore \text{الطاقة المنتجة} = 100 \times \frac{\text{الطاقة المستخدمة}}{\text{الكفاءة}}$$

$$= 100 \times \frac{65}{100} = 65 \text{ حصان}$$

مثال :

الكفاءة الكلية للطلبة والمحرك هي ٥٠% قوة الحصان للماء هي ١٥٠ كيلوات (150 KW). إذا كانت تكاليف الطاقة الكهربائية ٠,١٥ دولار للكيلوات ساعة (KW.h) كم تكون تكلفة تشغيل الطلبة لمدة ٨ ساعات؟

الحل :

استهلاك الطاقة الكهربائية هو $100 \div 50 \times 100 = 300$ كيلوات.

عند التشغيل لمدة ٨ ساعات فإن استهلاك الطاقة يكون

$$300 \times 8 \text{ ساعات} = 2400 \text{ كيلوات. ساعة}$$

تكاليف التشغيل هي :

$$2400 \text{ كيلوات ساعة} \times 0,15 = 360 \text{ دولار}$$

التشغيل والصيانة : (Operation and Maintenance)

يجب اتباع طرق التشغيل والصيانة الصحيحة للحصول على أداء جيد من طلبات الطرد المركزي. عاملان هامين بالنسبة للتشغيل والصيانة وهما المحافظة على نظافة محطة الطلبات والمحافظة على التزليق المناسب للطلبة. الطلبات الموجودة في محطة

طلمبات غير نظيفة لا يمكن أن تعمل بكفاءة. صفائح الزيوت والشحوم يجب أن تكون مغطاة وخالية من القاذورات. الوساخات في زيوت وشحوم التزليق بسبب البلى الناتج عن الاحتكاك (Wear) على كراسى التحميل للطلمبة يقلل من عمرها. يجب اتباع توصيات المنتج بالنسبة للتزليق الصحيح. من المهم عدم التزليق الزائد لكراسى تحميل الطلمبة حيث الشحوم الزائدة تسبب التلف.

الدافع الدوار هو الجزء المتحرك الوحيد فى غلاف الطلمبة. كراسى الدفع وكراسى التوجيه تحمل عامود الإدارة الذى يحمل الدافع. تستخدم جلبة الحشو حيث يبرز عامود إدارة الطلمبة من غلاف الطلمبة لمنع تسرب الهواء إلى الداخل أو تسرب الماء إلى الخارج. تتكون جلبة الحشو عادة من العديد من حلقات الاسبستوس المنقوع بالجرافيت حول عامود الإدارة. هذه الحلقات يمكن ضغطها (لتحمل ضد عامود الإدارة)، الجرافيت يوفر بعض التزليق. من المهم جداً أن تكون جلب الحشو فى وضع صحيح وليست زائدة الانضغاط. أثناء التشغيل قليل من الماء الذى يتسرب خارج غلاف الطلمبة يكون مطلوباً للمحافظة على استمرار برودة جلبة الحشو.

طلمبات الطرد المركزى يلزم تحضيرها أو ملئها بالماء عند بدئها، كلاً من غلاف الدافع (Gasing) وماسورة السحب يجب أن يكونا خاليان من الهواء. عند وضع الطلمبة فوق منسوب سطح الماء على جانب السحب، يمكن استخدام الطلمبة الكهربائية أو التى تعمل يدوياً لتحضير طلمبة الطرد المركزى. يصمم محبس القدم للمحافظة على ملء الطلمبة وماسورة السحب بالماء عند توقف الطلمبة عن العمل، ولكن فى حالة وجود تسرب فى محبس القدم ولو قليلاً فإن الطلمبة تفقد تحضيرها. الوضع المثالى هو أن تكون الطلمبة أسفل سطح الماء بحيث تكون دائماً فى حالة تحضير.

عند بدء تشغيل الطلمبة فإن محبس السحب يجب أن يكون مفتوحاً ومحبس الصرف مقفلاً. ثم يتم البدء فى فتح محبس الصرف ببطء عند وصول المحرك إلى سرعته. فى حالة عدم ملاحظة تنقيط أو تسرب مياه من جلبة الحشو فإن الحشو يمكن أن يكون محكماً جداً بما يسبب حدوث احتكاك على عامود الإدارة، يتم ضبط جلبة الحشو قبل السماح باستمرار العمل.

قبل إيقاف طلمبة الطرد المركزى، يجب قفل محبس الصرف ببطء. فى حالة القفل السريع للمحبس أو فى حالة التوقف المفاجئ للطللمبة تحدث حالة تسمى المطرقة المائية (Water Hammer). المطرقة المائية تشير إلى موجة الضغط أو موجة الاضطراب التى

تسير خلال خط المواسير. الضغط اللحظي للمطرقة المائية يكون عادة مرتفعاً بما يسبب التدمير للماسورة أو لغلاف الطلمبة. التفتيش اليومي على الطلمبات في الخدمة يعتبر شديد الأهمية لمراجعة زيادة سخونة، الصوت، أو تسرب جلبة الحشو. الطلمبة المنشأة جيداً، لا يحدث بها أى اهتزازات. الاهتزاز هو دلالة لعدم الاستقامة بين المحرك والطلمبة، والذي سوف يسبب البرى والبلى والتلف لمجموعة الطلمبة. في حالة ملاحظة الاهتزاز فإنه يجب مراجعة طريقة المنتج نحو طرق الاستقامة والتجاوزات.

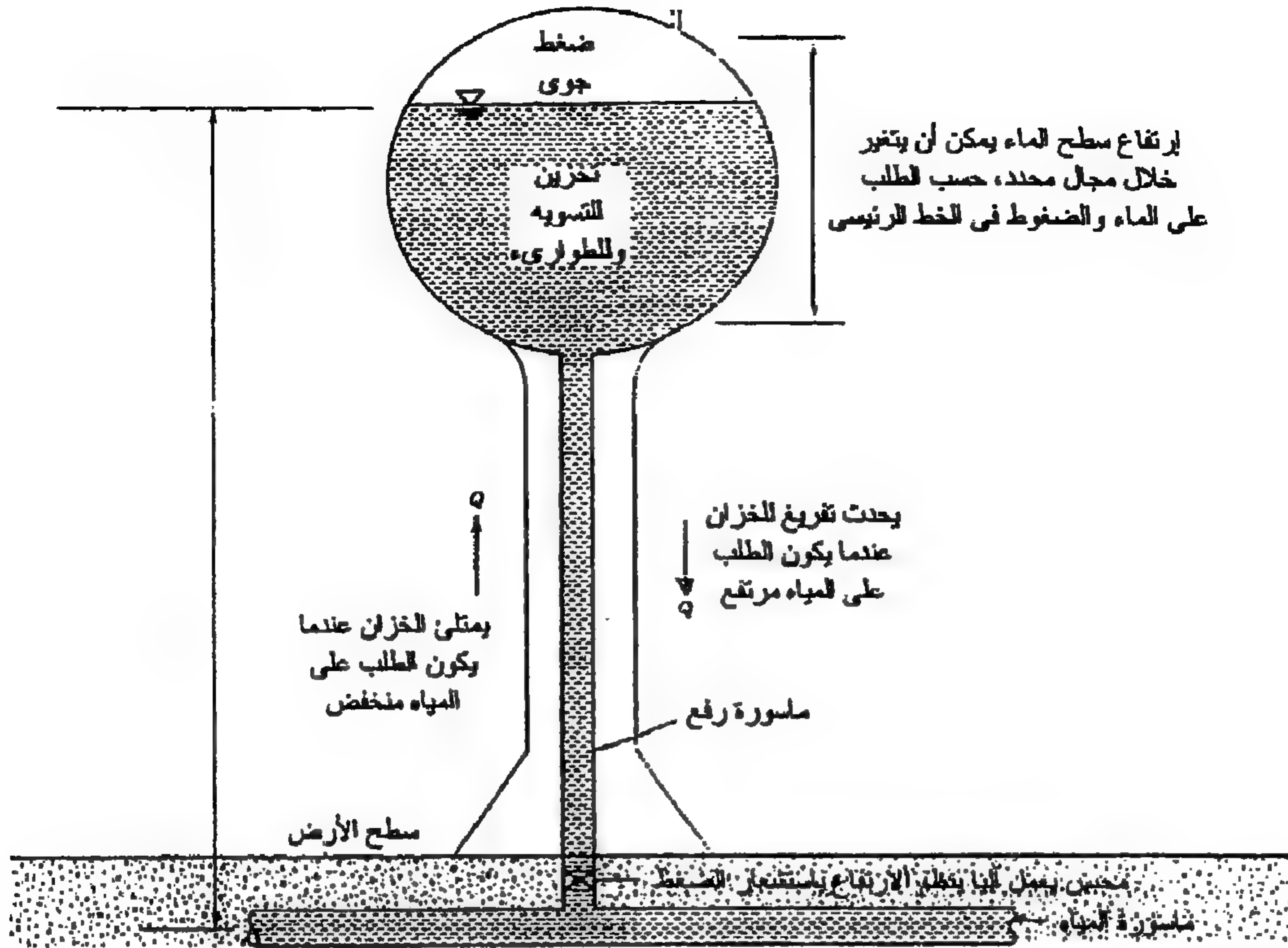
٤- توزيع التخزين : (Distribution Storage)

خزانات المياه العلوية هي من المناظر المألوفة في معظم المجتمعات. هذه الخزانات الصغيرة نسبياً تؤدي غرضين أساسيين. فهي توفر تسوية التخزين (Equalizing Storage) كما توفر تخزين الطوارئ (Emergency Storage). وهي تسمى خزانات تخزين وتوزيع المياه ذلك لأنها جزء من نظم التوزيع المحلية. خزانات كبيرة تسمى خزانات الحفظ (Conservation Reservoirs) توضع عادة على مسافة كبيرة من شبكة التوزيع ويعنى بها تخزين المياه التي يمكن استخدامها أثناء فترة المناخ الجاف الطويل.

تسوية التخزين يعنى به حجم الماء في الخزان المتاح لتوفير متطلبات ساعات الذروة في استخدامات المياه. التغير من ساعة لأخرى في الطلب على الماء موضح في الشكل (٤/٢١). أثناء ساعات الليل المتأخرة وساعات الصباح المبكرة عندما يكون الطلب على الماء قليلاً جداً، فإن طلمبة الرفع العالي ترفع الماء في خزانات شبكة التوزيع. أثناء النهار عندما يزداد الطلب على الماء عن متوسط الطلب اليومي، فإن المياه تتدفق من خارج الخزانات للمساعدة في تحقيق متطلبات ساعات الذروة للمجتمع.

خزانات حفظ وتوزيع المياه (Distribution Storage Tanks) توصف دائماً كأنها تطفو على خط المواسير (Floating Online). وهذا يعنى أن التدفق إلى الخزان أو خارج الخزان يتغير مباشرة طبقاً للطلب على المياه في الشبكة، والضغط الهيدروستاتيكي في خطوط المواسير يكافئ الضغط الرأسى أو ارتفاع المياه في الخزان. خزان الحفظ والتخزين موضح في الشكل (٤/٢١). محبس التحكم الآلى في الارتفاع يمكنه المحافظة على ارتفاعات المياه، وبالتالي ضغط الماء في الشبكة خلال المجال المطلوب.

التأثير المتوسط أو المتساوى على معدلات التدفق التي توفرها مياه التخزين تسمح بانتظام وثبات معالجة المياه ومعدل الضخ.



شكل (٤/٢١) خزان المياه العلوى سوف يطفو على الخط في شبكة توزيع المياه

عندما يقل الطلب على الماء، فإن الماء الزائد الذى يتم ضخه يملأ الخزان، وعندما يزيد الطلب على المياه عن معدل الضخ، فإن الخزانات يتم تفريغها لتعويض الفرق. هذا يحقق ميزة لخفض الأقطار والطاقة للمواسير والطلببات ومحطات المعالجة بما ينتج عنه خفض فى تكاليف الإنشاء والتشغيل.

عموماً حجم المياه المطلوب ليعادل أو يساوى تدفقات الذروة هو حوالى ٢٠% من متوسط استهلاك المياه اليومي فى المنطقة المخدومة. فمثلاً، إذا كان متوسط احتياجات التجمع السكنى من المياه هو مليون لتر فى اليوم، عندئذ لا يقل عن ٠,٢ مليون لتر أو ٢٠٠٠٠٠ لتر من حجم التخزين يجب توفيرها لأغراض التسوية. فى المجتمعات حيث التسجيلات المناسبة لاستخدام المياه واحتياجات المياه تكون متاحة، يمكن استخدام مخطط تجميع المياه لزيادة دقة تعيين حجم التسوية المطلوب فى الخزان الجديد. خزانات الحفظ والتوزيع لا يتم إنشاءها فقط بغرض تسوية التخزين حيث يتم توفير حجم تخزين طوارئ بهذه الخزانات. وهذا يوفر مياه إضافية لاحتياجات مقاومة الحريق، والتغلب على مشاكل كما فى حالة توقف مصدر الطاقة أو حدوث تلفيات فى محطة الطلببات.

كمية المياه اللازمة لمقاومة الحريق تختلف طبقاً لظروف المنطقة المخدومة وطاقة محطة ضخ المياه. فمثلاً، إذا كان التخزين لتدفقات مقاومة الحريق هو ٣٠ لتر في الثانية لمدة ساعتين فإن الحجم المطلوب يكون ٣٠ لتر في الثانية $\times 3600$ ثانية في الساعة $\times 2$ ساعة = ٢١٦٠٠٠ لتر = ٢١٦ متراً مكعباً. هذا الحجم يتم إضافته إلى الحجم المطلوب لأغراض التسوية لتعيين إجمالي حجم الخزان. إذا كان المطلوب ٢٠٠٠٠٠ لتر لتسوية التخزين والمطلوب ٢١٦٠٠٠ لتر لمقاومة الحريق فإن أدنى حجم للخزان يكون ٤١٦٠٠٠ لتر أو ٤١٦ متراً مكعباً.

في حالة عدم توفر مولد كهربائي أو ماكينة ديزل للطوارئ في محطة طلبات مياه الرفع العالي، قد يكون من الضروري توفير خزان تخزين إضافي بحيث كلا من متطلبات المياه المنزلية ومتطلبات الطوارئ لمقاومة الحريق يمكن توفيرها أثناء التوقف المؤقت لمصدر الطاقة. للتوفيق بين كل طلبات التوزيع هذه، يمكن ببساطة العمل على أن يكون حجم التخزين يساوي متوسط متطلبات المياه اليومية، باستثناء التأكد ببيانات متاحة أن الحجم الأصغر سوف يكون كافياً.

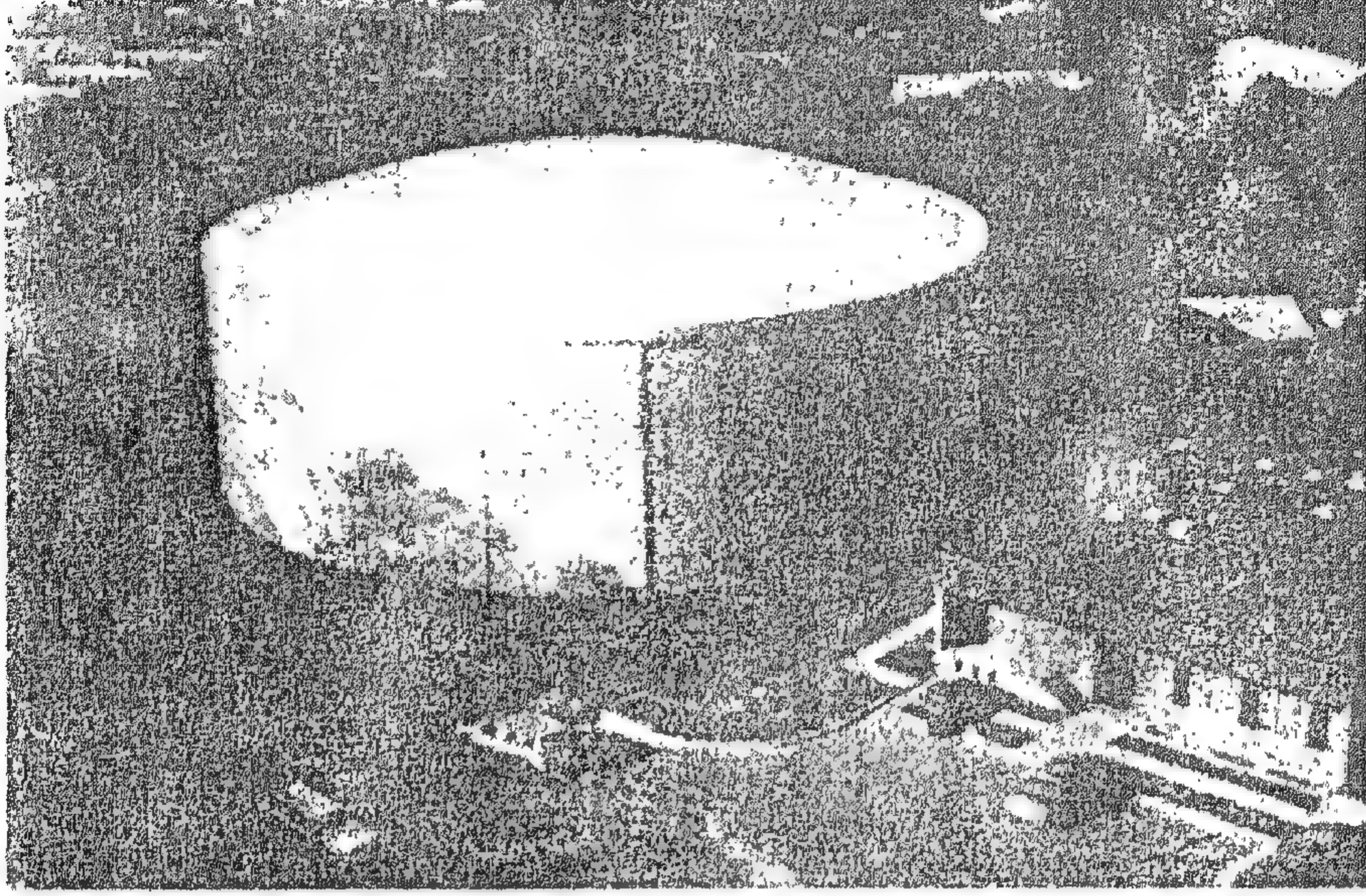
أنواع خزانات التوزيع : (Types of Distribution Reservoirs)

خزانات التوزيع تقوم بتخزين المياه لمدة زمنية قصيرة (لمدة يوم واحد أو أقل) وهي تكون صغيرة بما يمكن من تغطيتها لمنع حدوث التلوث وخفض البخر. في المناطق حيث الطبوغرافية المستوية تكون خزانات التخزين مرتفعة عن سطح الأرض على أبراج لتوفير الضغط المناسب في شبكة التوزيع. هذه الخزانات المرتفعة عادة تصنع من الصلب.

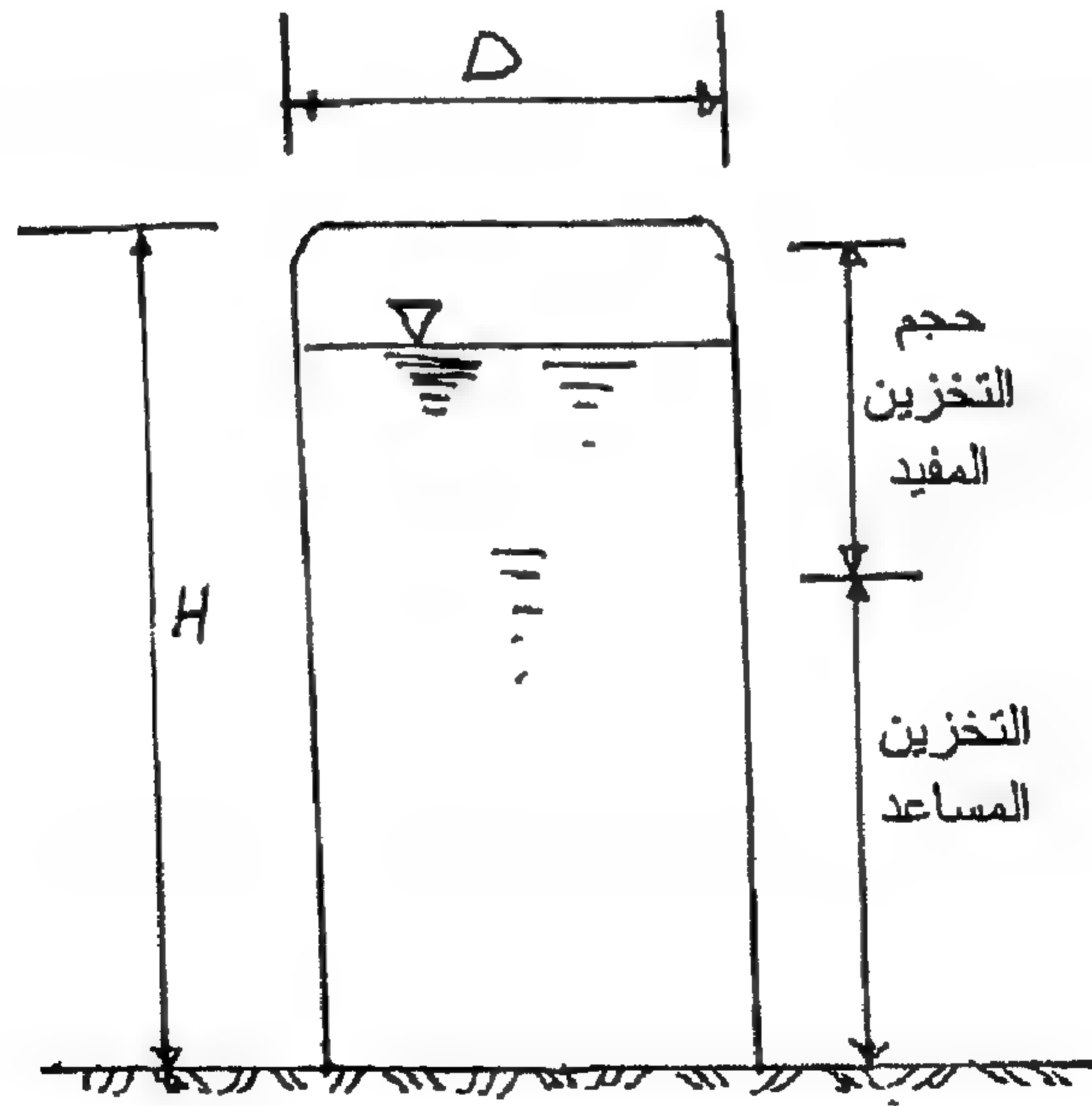
في المناطق حيث تتوفر التلال، يمكن بناء خزان التوزيع عند مستوى سطح الأرض على قمة التل أعلى من المنطقة المخدومة ويظل طافياً على الخط ومحافظاً على الضغط المناسب في الشبكة.

وهذه يمكن أن تنشأ إما من الصلب أو من الخرسانة المسلحة. نموذج لخزان توزيع على مستوى سطح الأرض موضح في الشكل (٤/٢٢). عندما يكون ارتفاع خزان التخزين أكبر من قطره، فإن المنشأ يسمى الماسورة القائمة (Stand Pipe) كما هو موضح في الشكل (٤/٢٣). خزانات الماسورة القائمة توفر طاقة تخزين أكبر من الخزانات العلوية. ولكن طاقة التخزين التي تفيد في أغراض التسوية هي فقط ذلك الحجم فوق الارتفاع اللازم لأدنى ضغط في الخط الجديد. الماء أسفل هذا الارتفاع يمكن استخدامه

لمقاومة الحريق باستخدام عربات الحريق المجهزة بالطلسمات أو أثناء حالات طارئة أخرى. تنشأ خزانات الماسورة القائمة من الصلب، حيث جدران الخزان تكون أكثر سمكا عند القاع لتحمل الضغط الهيدوليكي.



شكل (٤/٢٢) توزيع على منسوب الأرض

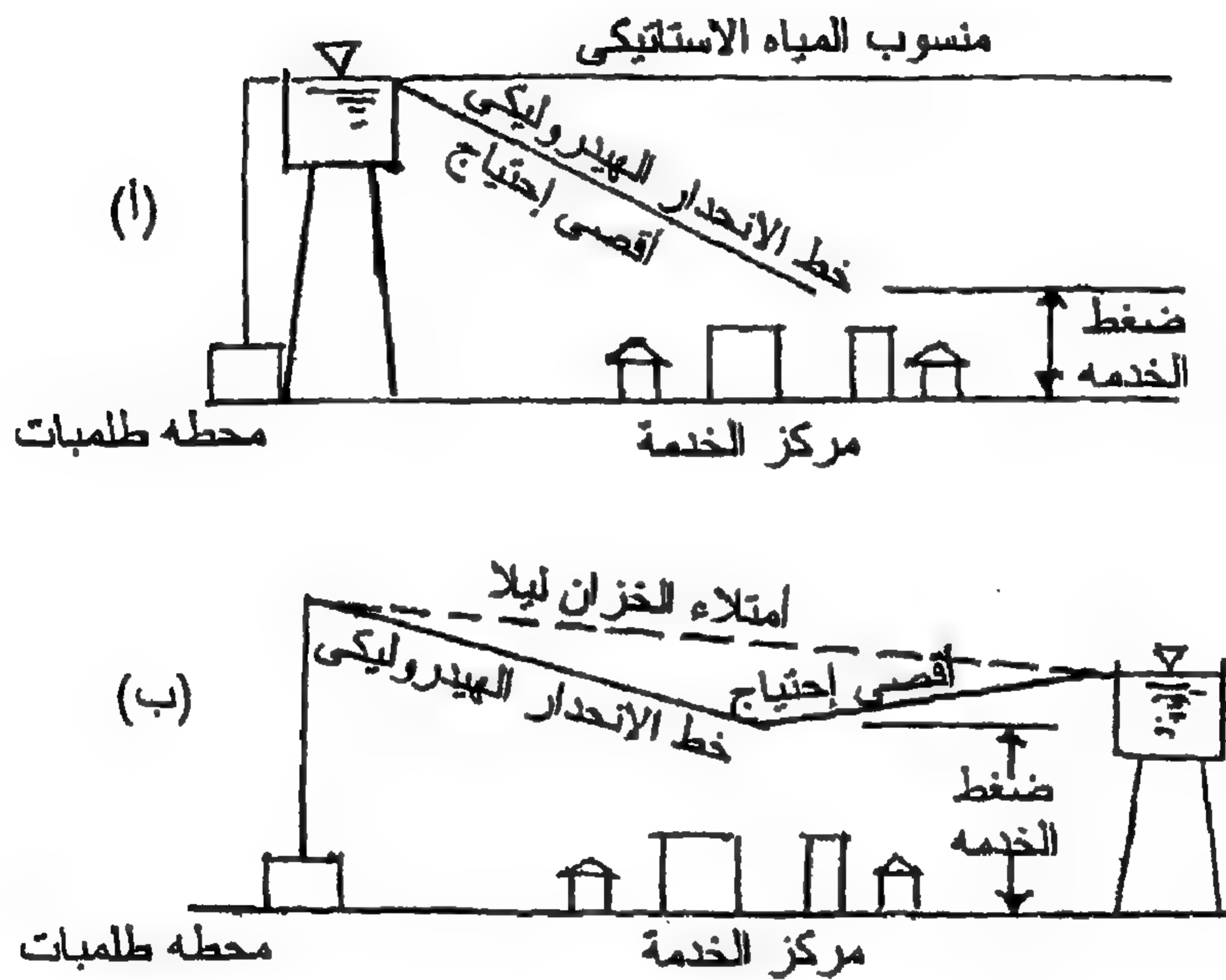


شكل (٤/٢٣) خزان المياه يسمى الماسورة القائمة عندما يكون

ارتفاعه أكبر من قطره $(H > D)$.

مكان خزانات التخزين : (Location of Storage Tanks)

إن استخدام العديد من خزانات التخزين الصغيرة قريباً من معظم مراكز سحب المياه يفضل عن استخدام خزان واحد ضخماً قريباً من محطة الضخ. كذلك، يكون من المفضل وضع الخزانات على الجانب المقابل لمركز الاحتياج من محطة الضخ. وهذا يوفر ضغوط أكثر انتظاماً خلال شبكة التوزيع، كما هو موضح في الشكل (٤/٢٤). وكذلك يسمح باستخدام مواسير ذات قطر أقل وكذلك طلبات. المثال الآتي يوضح الحسابات الهيدروليكية اللازمة وتأثير التخزين على ضغط التصريف المطلوب عند محطة الضخ.

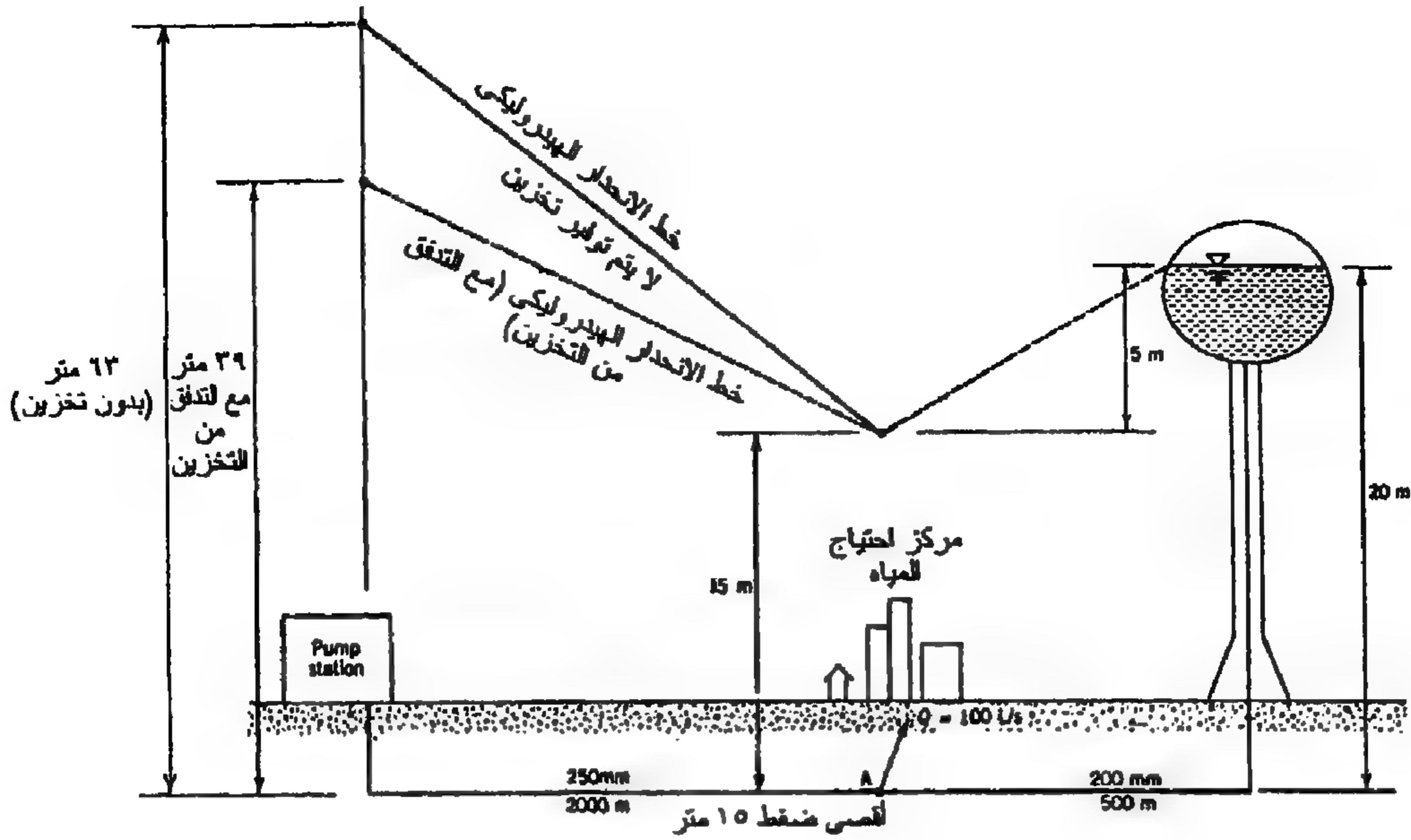


شكل (٤/٢٤) مكان خزانات التوزيع يفضل أن يكون عكس المصدر

(ب) مقارنة بالمكان عند المنبع (أ).

مثال :

إذا كان المطلوب في ساعات الذروة هو ١٠٠ لتر في الثانية عند النقطة (A) في الشكل (٤/٢٥). وأن الضغط عند هذه النقطة يجب ألا يقل عن ١٥٠ كيلو بار. عين (أ) الضغط المطلوب عند محطة الضخ إذا كانت الاحتياجات يتم توفيرها بدون أي خزان توزيع، و (ب) الضغط الرأسي المطلوب عند الطلبات في حالة استخدام خزان التوزيع ليساعد في تلبية احتياجات الذروة بالطفو فوق الخط على ارتفاع ٢٠ متراً كما هو موضح.



شكل (٤/٢٥) توضيح للمثال

الحل :

(أ) احسب الانخفاض في الضغط من محطة الضخ إلى نقطة السحب، كالاتى :

بالنسبة للتصرف $Q = 100$ لتر/ث، القطر $D = 250$ ملمتر، اقرأ S (الميل) = 0.024 على مخطط هازن- ويليام (الفصل ٢ شكل ١٥). احسب $h_f = L \times S = 2000 \times 0.024 = 48$ متر عند النقطة (A) يجب ألا يقل الضغط عن 50 كيلو بار باستخدام المعادلة $(h = \frac{P}{9.8} = 0.1 \times P)$ (الفصل ٢) نلاحظ أن 150 كيلوبار تكافئ $150 \times 0.1 = 15$ متر من الضغط الرأسى. حيث أن التدفق يحدث فى اتجاه ميل خط الانحدار الهيدروليكي (HGL) فإن 48 متر الفقد فى الضغط يجب إضافتها إلى الـ 15 متر أدنى ضغط رأسى مطلوب عند النقطة (A). خط الانحدار الهيدروليكي موضح فى الشكل (٤/٢٥). الضغط الرأسى يكون عندئذ $15 + 48 = 63$ متر، وباستخدام المعادلة (٢/٢-أ) (الفصل الثانى) وهى $P = 9.8 \times h$ (حيث $P =$ الضغط الهيدروستاتيكي كيلوبار، $h =$ عمق الماء من السطح بالمتر).

فإننا نجد أن الضغط المطلوب عند محطة الضخ هو

$$P = 9,8 \times 63 = 620 \text{ كيلو بار.}$$

(ب) في هذا الجزء من المثال يكون خزان الحفظ مشاركاً في التدفق إلى نقطة السحب. الفقد في الضغط في ٥٠٠ متر من خط المواسير هو $20 - 15 = 5$ متر. ميل خط الانحدار الهيدروليكي يكون عندئذ $5 \div 500 = 0,01$ ، ومن مخطط هازن وليام حيث $D = 200$ مليمتراً، $S = 0,01$ اقرأ $Q = 32$ لتر/ث.

حيث أن إجمالي السحب مازال ١٠٠ لتر/ث، فإن التدفق من محطة الضخ يجب أن يكون $100 + 32 = 132$ لتر/ث. من مخطط هازن وليام، مع $Q = 132$ لتر/ث، $D = 250$ مليمتراً، اقرأ $S = 0,012$. الفقد في الضغط بين محطة الضخ والنقطة (A) يكون عندئذ $h_L = 2000 \times 0,012 = 24$ متر، الضغط الرأسى المطلوب عند محطة الضخ يكون عندئذ $24 + 15 = 39$ متر، الضغط المطلوب يكون $P = 39 \times 9,8 = 380$ كيلوبار. يلاحظ من هذا المثال أن الطاقة المطلوبة للطلبة تتخفض من ١٠٠ لتر/ث عند ضغط تصرف ٦٢٠ كيلوبار إلى طاقة ٦٨ لتر/ث عند ضغط ٣٨٠ كيلو بار عند تحقيق متطلبات ساعات الذروة جزئياً من خزان تخزين التوزيع.

الصيانة : (Maintenance)

يتم التفقيش الدورى على الخزانات، حيث يتم إصلاح التسرب والشقوق مع المحافظة على نظافة فتحات تصريف الهواء. انسداد فتحات تصريف الهواء يمكن أن تسبب الضغط الزائد أو التفريغ فى الخزان، والذي يمكن أن ينتج عنه تلف تدميرى.

يتم تفريغ الخزان ونظافته وتطهيره دورياً. تراكمات الطمي يتم إزالتها. أحياناً يلزم دهان السطح الداخلى للخزان الصلب بواسطة البيتومين أو الفينيل. كل آثار الصدأ يتم إزالتها.

التطهير يمكن تنفيذه برش حوائط الخزان الداخلية بمحلول كلور بتركيز ٥٠٠ ملجرام/لتر.

تآكل الخزان الصلب يعتبر مشكلة رئيسية. يمكن فقد حوالى ١٠ كيلوجرام (٢٢ رطل) من الصلب فى العام بسبب التآكل. بالإضافة إلى حماية الصلب بطبقة من البيتومين فإنه تستخدم أحياناً الحماية الكاثودية. التآكل يشمل تدفق التيار الكهربى خلال الماء فى شكل أيونات معدن موجبة الشحنة. فى الحماية الكاثودية، يظل المحافظة على الجهد فى الخزان الذى يعمل على تغيير اتجاه التيار. هذا الجهد المستخدم يحافظ على المعدن من

التآكل وبذا يمنع حدوث التآكل. نظام الحماية الكاثودية يجب تصميمه بواسطة متخصصين لكل خزان.

٥- التدفق في شبكة المواسير : (Flow in Pipe Network)

شبكات توزيع المياه وخاصة تلك التي تخدم المدن المزدهمة بالسكان، تتكون من شبكة معقدة من المواسير المتقاطعة ولوازمها. الظروف الهيدروليكية في هذه الشبكات يلزم تحليلها لتعيين طاقات التدفق والضغط في مصادر التغذية الرئيسية والثانوية وعند النقاط ذات السحب الكافي من المياه.

قد يكون من المناسب أولاً تبسيط أو اختصار النظام باستبدال المواسير الكثيرة الصغيرة بالمواسير المكافئة لتقليل عدد الدوائر والتقاطعات. يتم ذلك بالتفهم النظري، المواسير الموجودة لا يتم استبدالها الحقيقي في الشوارع. بعد اختصار شبكة التوزيع، يمكن استخدام طرق تحليل الشبكة لدراسة هيدروليكا النظام. الدراسات من هذا النوع تتم للتخطيط نحو إمكانيات التوسع أو التطوير لشبكة الإمداد بالمياه.

في هذا البند سيتم تناول التقنيات الهيدروليكية الأساسية لتعيين المكافئ الهيدروليكي للمواسير وتحليل شبكة توزيع المياه.

المواسير المتكافئة : (Equivalent Pipes)

الماسورة المكافئة هي تلك الماسورة التي لها نفس الخواص الهيدروليكية مثل المواسير التي تستبدلها نظرياً. بمعنى آخر، بالنسبة لأي معدل تدفق. الخفض في الضغط خلال الماسورة المكافئة هو نفسه مثل كل الخفض في الضغط خلال المواسير الأصلية. وبالنسبة لأي نظام على التوالي أو على التوازي، لا يوجد حد للجمع النظري لأقطار وأطوال المواسير للماسورة المكافئة. عادة يتم أولاً إما توصيف القطر (أو الطول) ثم عندئذ يتم تعيين الطول (أو القطر) للتكافؤ الهيدروليكي.

المواسير على التوالي : (Pipes in Series)

الخطوات الخمسة الآتية تلخيص لطريقة تعيين الماسورة المكافئة لاستبدال عدد مختلف من المواسير متصلة نهاية بنهاية.

الخطوة (١) :

افتراض أى معدل تدفق (Q). يتم اختيار معدل التدفق خلال مجال استخدام مخطط هازن وليام الشكل (٢/١٥).

الخطوة (٢) :

باستخدام المخطط ارسم على كلا من (Q) معدل التدفق والقطر (D) لكل مقطع من المواسير الأصلية. اقرأ الميل (S) واحسب الفقد فى الضغط $L \times S = h_L$ لكل مقطع، حيث (L) هى طول المقطع.

الخطوة (٣) :

يتم إضافة الفقد فى الضغط لكل المقاطع على التوالى لتعيين الفقد الكلى فى الضغط (H_L) للتصرف الذى تم افتراضه فى خط المواسير.

الخطوة (٤) :

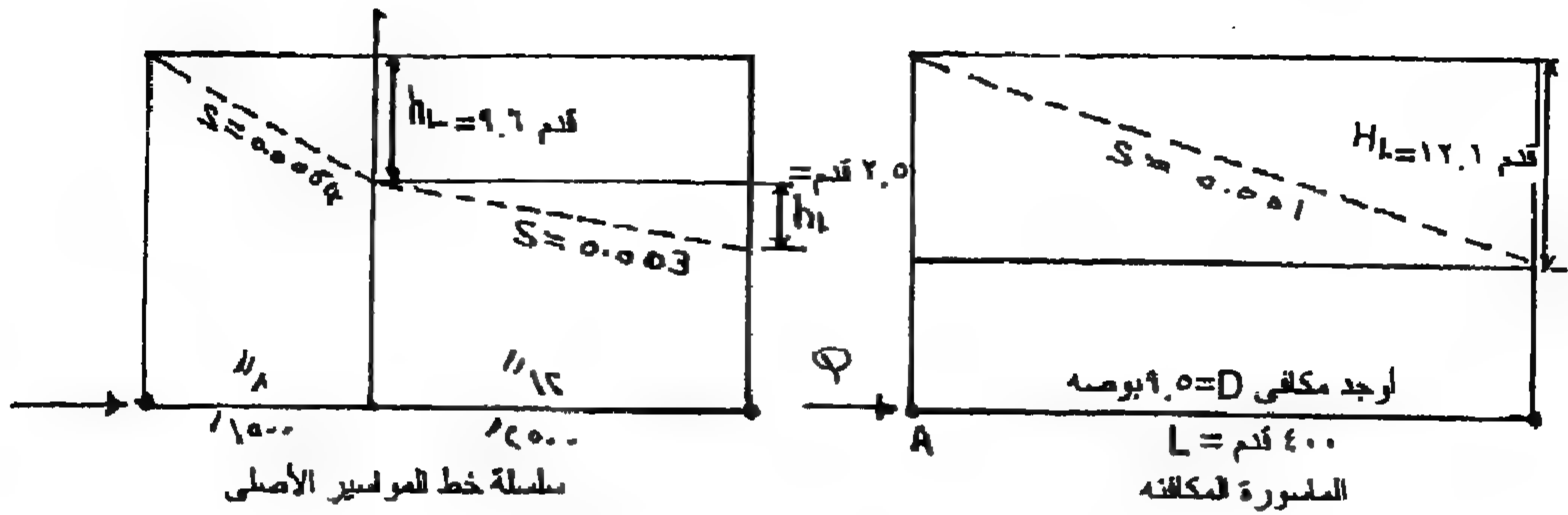
حول الفقد الكلى فى الضغط (H_L) إلى التدرج الهيدرولى الكلى $S' = H_L \div L'$ حيث $L' =$ الطول الكلى الموصف للماسورة المكافئة.

الخطوة (٥) :

استخدم المخطط ثانياً مع قيمة (Q) المفترضة وقيمة S' المحسوبة، اقرأ القيمة المطلوبة للقطر (D) للماسورة المكافئة.

مثال :

خط مواسير على التوالى موضع فى الشكل (٤/٢٦). يتكون من ماسورة بطول ١٥٠٠ قدم وقطر ٨ بوصات من النقطة (A) إلى النقطة (B)، ٢٥٠٠ قدم لماسورة بقطر ١٢ بوصة من النقطة (B) إلى النقطة (C). عين القطر المكافئ لخط مواسير واحد بطول ٤٠٠٠ قدم من (A) إلى (C) الذى يمكن نظرياً استبدال المواسير (AB) ، (BC).



شكل (٤/٢٦) توضيح للمثال

الحل :

الخطوة (١) : افترض معدل تدفق $Q = 400$ جالون في الدقيقة.

الخطوة (٢)

بالنسبة للمقطع AB، علم في مخطط هزن وليام $Q = 400$ جالون في الدقيقة، $8 = D$ بوصة. ثم اقرأ $(S) = 0.0064$ تقريباً. احسب $h_L = L \times S = 1000 \times 0.0064 = 6.4$ قدم = 9.6 قدم. بالمثل بالنسبة للمقطع BC، علم $Q = 400$ جالون في الدقيقة والقطر $12 = D$ بوصة ثم اقرأ $(S) = 0.001$ ثم احسب

$$h_L = 2000 \times 0.001 = 2.0 \text{ قدم}$$

الخطوة (٣) :

احسب إجمالي الفقد في الضغط من A إلى C كالآتي :

$$H_L = 9.6 + 2.5 = 12.1 \text{ قدم}$$

الخطوة (٤) :

احسب التدرج الهيدروليكي الكلي من A إلى C كالآتي :

$$S' = 12.1 \div 4000 = 0.003$$

الخطوة (٥)

الآن علم خط $Q = 400$ جالون في الدقيقة، $S' = 0.003$ على المخطط اقرأ $D = 12$ بوصة.

الماسورة المكافئة في هذا المثال هي تلك ذات قطر ٩,٥ بوصة وطول ٤٠٠٠ قدم (قراءة المخطط تقريبية).

لاحظ أن القطر المكافئ ٩,٥ بوصة في المثال السابق ليس ببساطة هو المتوسط الموزون للقطرين الأصليين A إلى B، B إلى C. فهو القطر لطول ٤٠٠٠ قدم لماسورة الذي له نفس الخواص الهيدروليكية مثل المواسير الأصلية ٨ بوصات، ١٢ بوصة. المواسير الأصلية يمكن كذلك استبدالها بطول ٣٠٠٠ قدم مكافئ لماسورة بقطر ٨,٩ بوصة، بطول ٢٠٠٠ قدم لماسورة ٨,١ بوصة وهكذا، يوجد عدد غير محدود من المواسير المكافئة لأي نظام في شبكة التوزيع.

بالنسبة للمثال السابق، إذا كان معدل التدفق بخلاف $Q = ٤٥٠$ جالون في الدقيقة ثم افترضه في الخطوة رقم (١)، فإنه سيتم الحصول على نفس الإجابة النهائية ٩,٥ بوصة للقطر المكافئ. حاول نفس المثال مع افتراض $Q = ١٠٠٠$ جالون في الدقيقة أو أي معدل تدفق آخر، لإثبات ذلك.

المواسير على التوازي : (Pipes in Parallel)

طريقة تعيين الماسورة المكافئة لاستبدال الشكل الحلقي للمواسير تختلف إلى حد ما عن الطريقة السابقة للمواسير على التوالي. الخطوات السبع الآتية توضح الطريقة للنظام المواسير المتوازية أو في شكل مستدير (شكل ٤/٢٧).

الخطوة (١) :

افتراض الفقد الكلي في الضغط H_L عبر الدائرة من اتصال الماسورة الأولى عند A إلى اتصال الماسورة الثانية عند B. هذا الفقد في الضغط المفترض يجب أن يكون نفسه لكل من الفرع العلوي والفرع السفلي للحلقة، حيث أن الضغوط عند نهايات كل ماسورة هي نفسها عند الاتصال.

الخطوة رقم (٢) :

بالنسبة للفرع AIB، احسب $S = H_L \div L$ ، حيث L هو طول AIB.

الخطوة رقم (٣) :

استخدم مخطط هازن وليام مع D، S لفرع AIB، عين Q_I في هذه الفرعة.

الخطوة رقم (٤) :

كرر الخطوة (٢) ، (٣) للفرعة AIIB لتعيين Q_{II} .

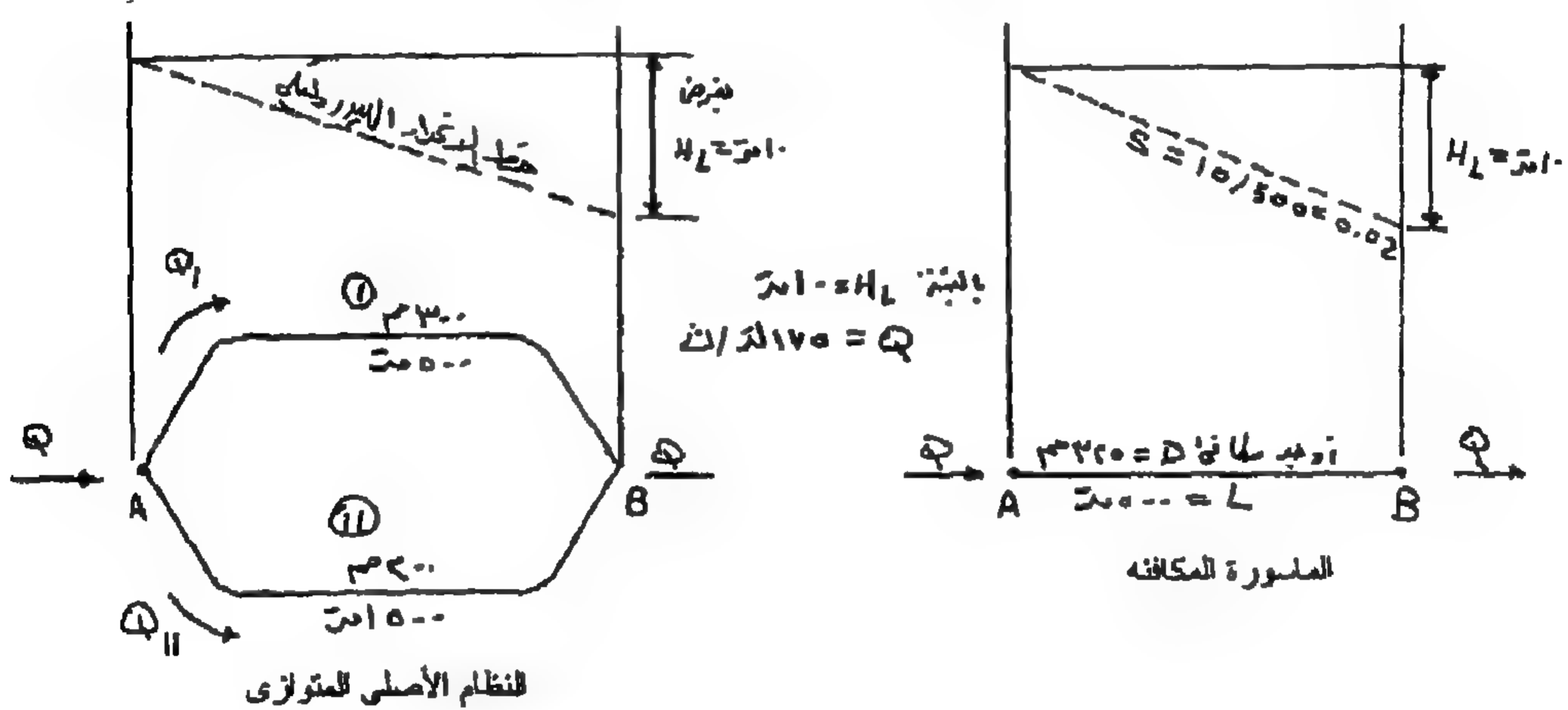
الخطوة رقم (٥) :

احسب معدل التدفق الكلي Q الداخل الوصلة A ، حيث $Q_{II} + Q_I = Q$

الخطوة رقم (٦) :

عين التدرج الهيدروليكي الكلي S' كالآتي : $S' = H_L \div L'$ المفترض حيث L' هو الطول الموصف للماسورة المكافئة.

الخطوة رقم (٧) :

استخدم مخطط هازن- وليام مع Q ، S' لتعيين القطر المكافئ D .

شكل (٤/٢٧) توضيح للأمثلة

مثال :

خطان من المواسير متصلان على التوازي من الاتصال A إلى الاتصال B كما هو موضح في الشكل (٤/٢٧). الفرع AIB يتكون من ماسورة بطول ٥٠٠ متر وبقطر ٣٠٠ ملليمتر، والفرع $AIIB$ يتكون من ماسورة بطول ١٥٠٠ متر وبقطر ٢٠٠ ملليمتر. عين القطر المكافئ لخط مواسير مفرد بطول ٥٠٠ متر A إلى B الذي يمكن أن يستبدل الحلقة المعطاة.

الحل :

الخطوة (١) : افترض أن $H_L = 10$ متر

الخطوة (٢) :

بالنسبة للفرع AIB ، $S = 500 \div 10 = 0.02$

الخطوة (٣) :

من مخطط هازن وليام مع $D = 300$ ملمتر، $S = 0.02$ اقرأ $Q = 143$ لتر/ث.

الخطوة رقم (٤)

من الفرع AIIB ، $S = 1500 \div 10 = 0.067$

من المخطط، مع $D = 200$ ملمتر، $S = 0.067$ اقرأ $Q = 27$ لتر/ث.

الخطوة (٥)

التدفق الكلى إلى الوصلة A هو $Q = Q_I + Q_{II} = 143 + 27 = 170$ لتر/ث.

الخطوة (٦) :

الميل الهيدروليكي الكلى $S' = 500 \div 10 = 0.02$

الخطوة (٧) :

من المخطط، مع $Q = 170$ لتر/ث، $S' = 0.02$ اقرأ القطر المكافئ لـ 350 ملمتر.

حسابات المثال السابق تبين أن خط المواسير بطول 500 متر وبقطر 350 ملمتر يكافئ هيدروليكيًا للحلقة المعطاة من A إلى B. عدد غير محدود من مواسير مكافئة أخرى مع مجموعة مختلفة من الطول والقطر يمكن إيجادها. كذلك، إذا كان الفقد في الضغط بخلاف 10 متر ثم افترضه في الخطوة رقم (١)، فإن نفس الإجابة النهائية للقطر 320 ملمتر للطول 500 متر سوف تكون النتيجة. حاول نفس المثال مع افتراض $HL = 20$ متر لإثبات ذلك.

تحليل شبكة خطوط المواسير : Pipe Network Analysis

بعد تبسيط نظام توزيع المياه المعقدة باستخدام المواسير المكافئة، يتم عندئذ تحليلها لتعيين الضغوط ومعدلات التدفق عند النقاط الهامة في النظام. يمكن محاكاة شبكة التوزيع وتحليلها باستخدام الكمبيوتر. قبل إمكان استخدام المحاكاة باستخدام الكمبيوتر.

طريقة هاردي كروس (Hardy Cross) هي طريقة المحاولة والخطأ، التصحيحا تستخدم لمعدلات تدفق فرضية بطريقة التي تؤدي إلى نظام متزن هيدروليكيا. النظام المتزن هو ذلك الذي فيه التدفق المحسوب والفقد في الضغط يتطابق عند وصلة الماسورة في شبكة التوزيع. بمعنى آخر، مهما كان الممر أو الفرعة الذي يتم إبتاعه للحصول على توصيل معين، فإن الضغط المحسوب هو نفسه. وإجمالي التدفق في الوصلة يساوى إجمالي التدفق الخارج من تلك الوصلة.

التصميمات المطبقة للتدفق الفرضية يتم تحديدها من المعادلة الآتية. والتي اشتقت من معادلة هازن - وليام.

$$\Delta Q = \frac{\sum h_L}{1.85 \times \sum (h_L / Q)}$$

حيث

$$\Delta Q = \text{تصحيح التدفق}$$

$$\sum h_L = \text{مجموع الفقد في الضغط}$$

$$\sum h_L / Q = \text{مجموع النسب } h_L / Q \text{ لكل خط مواسير في الدائرة}$$

$$(\text{هنا } \Delta Q \text{ تنطق دلتا } Q, \sum h_L \text{ تنطق سيجما } h_L).$$

مصطلح العلاقة المستخدم في طريقة هاردي كروس لبيان اتجاه التدفق في الدائرة: التدفقات في اتجاه دوران عقرب الساعة (→) تعتبر موجبة (+) والتدفقات في اتجاه عكس دوران عقرب الساعة (←) تعتبر سالبة (-). الفقد في الضغط بسبب التدفقات في اتجاه عقرب الساعة تعتبر كذلك موجبة والفقد في الضغط من اتجاه عكس دوران عقرب الساعة تكون سالبة.

في النظام المتزن هيدروليكيا المجموع الجبري للفقد في الضغط حول الحلقة $\sum h_L$ سوف تضيف إلى الصفر. فمثلا، في نظام المواسير المتوازية في الشكل (٤/٢٧)، معدل

التدفق لـ ١٤٣ لتر/ث في AIB يكون موجبا (في اتجاه عقرب الساعة)، والفقد في الضغط ١٠ متر في تلك الماسورة هو كذلك موجب (+ ١٠ متر). معدل التدفق لـ ٢٧ لتر/ث في AIIB يكون سالبا (عكس اتجاه عقرب الساعة) والفقد في الضغط في تلك الماسورة هو كذلك سالبا (- ١٠ متر). في هذه الدائرة البسيطة $\Sigma h_L = (+ 10) + (- 10) = 0$ صفر كما ستكون للنظام المتوازن.

مثال :

ثانياً عند تناول الدائرة المفردة للمواسير المتوازية في الشكل (٤/٢٧). بدلا من استبدالها بماسورة مكافئة، المسألة هنا هي كالاتى :

إذا كان التدفق لـ ٤٠٠ لتر/ث يدخل وصلة الدائرة A، ما هي معدلات التدفق (Q1) التى ستكون في الفرع AIB، (QII) في الفرع AIIB.

الحل :

من مبدأ استمرار التدفق، فإن التدفق الداخل إلى الوصلة يجب أن يساوى التصريف الكلى من الوصلة أو $Q_I + Q_{II} = 400$ لتر/ث. إذا كانت الفرعات AIB , AIIB متشابهين في جميع الاعتبارات. عندئذ فإن التدفق ٤٠٠ لتر/ث سوف ينقسم بالتساوى بينهم. ولكن هذه ليست كذلك هنا، AIIB أطول وأضيق من AIB، ولذلك فإنها سوف تسبب مقاومة للتدفق أكثر. من المناسب افتراض أن معدل التدفق AIIB سيكون أقل من ذلك في AIB.

أبدأ بفرضية أن معدل التدفق $Q_1 = 300$ لتر/ث، $Q_{II} = 100$ لتر/ث (العلامة السالبة لـ QII تبين الاتجاه عكس دوران عقرب الساعة للتدفق). قيم التدفقات يجب أن تظل تضاف حتى ٤٠٠ (أى $300 + 100 = 400$).

إذا كانت الفرضية لمعدل التدفق صحيحة، عندئذ فإن الفقد في الضغط في AIB ، AIIB سيكون متساويا في القيمة (ولكن بعلامة مختلفة). باستخدام مخطط هازن - وليام لمراجعة ذلك يعطى النتائج الآتية.

* الماسورة AIB

بالنسبة لـ $Q = 300$ لتر/ث، $D = 3000$ ملم، $S = 0.075$

$h_L = L \times S = 0.075 \times 500 = 37.5$ متر

* الماسورة AIIB

بالنسبة لـ $Q = 100$ لتر/ث، $D = 300$ ملمتر، $S = 0.07$

$$L \times S = h_L = 1500 \times 0.07 = 105 \text{ متر}$$

حيث أن $\Sigma h_L = 37.5 + (105) = 142.5$ متر، بدلاً من صفر، فإن الحلقة تكون غير متوازنة والتدفقات المقترحة ليست صحيحة. بدلاً من التخمين عند تدفقات جديدة كمحاولة، استخدم معادلة التصحيح لهاردي كروس والتي سبق ذكرها

$$\Delta Q = \frac{\sum h_L}{1.85 \times \sum (h_L / Q)}$$

$$\Delta Q = \frac{142.5}{[(100 \div 105) + (300 \times 37.5)] \times 1.85}$$

$$= \frac{142.5}{1.175 + 1.85} = 31 \text{ لتر/ث}$$

بإضافة تصحيح التدفق $\Delta Q = 31$ لتر/ث إلى التدفقات الفرضية يعطى معدلات تدفق جديدة كالآتي :

$$* \text{ الماسورة AIB : } Q_I = 31 + 300 = 331 \text{ لتر/ث}$$

$$* \text{ الماسورة AIIB : } Q_{II} = 31 + 100 = 131 \text{ لتر/ث}$$

$$* \text{ راجع الاستمرارية : } 331 + 96 = 427 \text{ أو كى}$$

لاحظ أهمية استخدام العلامات الجبرية الصحيحة

الآن استخدم المخطط ثانياً لمعرفة ما إذا كانت الدائرة متوازنة هيدروليكيًا مع التدفقات الجديدة.

الماسورة : AIB :

$$\text{بالنسبة لـ } Q_I = 331 \text{ لتر/ث، } D = 300 \text{ ملمتر، } S = 0.085$$

$$L \times S = h_L = 500 \times 0.085 = 42.5 \text{ متر}$$

الماسورة AIIB :

بالنسبة لـ

$$\text{بالنسبة لـ } Q_{II} = 69 \text{ لتر/ث، } D = 200 \text{ مليمتراً، } S = 0,037$$

$$L \times S = h_L = 1000 \times 0,037 = 50,5 \text{ متر}$$

الآن $\Sigma h_L = 42,5 + (-50,5) = -13 \text{ متر}$. هذا يظل ليس صفراً، لذلك يتم عمل

تصحيح للتدفق آخر كالآتي :

$$\Delta Q = \frac{-13}{[(69 \div 50,5) + (331 \times 42,5)] \times 1,85}$$

$$= \frac{-13}{1,726} = 7,53 \text{ لتر/ث}$$

من الناحية العملية يتم تقريب 7,53 لتكون $\Delta Q = 8 \text{ لتر/ث}$ وبالنسبة للتدفقات التي تم

تصميمها، نحصل على الآتي:

$$\text{الماسورة AIB } Q_I = 331 + 8 = 339 \text{ لتر/ث}$$

$$\text{الماسورة AIIB } Q_{II} = 69 + 8 = 77 \text{ لتر/ث}$$

$$\text{راجع الاستمرارية: } 339 + 77 = 416 \text{ أوكى}$$

الآن راجع الفقد في الضغط ثانياً لمعرفة إذا كانت الدائرة متوازنة

الماسورة : AIB :

$$\text{بالنسبة لـ } Q_{II} = 339 \text{ لتر/ث، } D = 300 \text{ مليمتراً، } S = 0,09$$

$$L \times S = h_L = 500 \times 0,9 = 45 \text{ متر}$$

الماسورة : AIIB :

$$\text{بالنسبة لـ } Q_I = 16 \text{ لتر/ث، } D = 200 \text{ مليمتراً، } S = 0,03$$

$$L \times S = h_L = 1000 \times 0,03 = 30 \text{ متر}$$

حيث أن $\Sigma h_L = 45 + (-30) = 15 \text{ صفر}$ ، إذن الدائرة متوازنة، الإجابات النهائية

لمعدلات التدفق هي

$$Q = 339 \text{ لتر/ث، } Q_{II} = 77 \text{ لتر/ث}$$

(من الناحية العملية، يتم تقريب الإجابات إلى ٣٤٠ لتر/ث ، ٦٠ لتر/ث على التوالي). الفقد في الضغط من A إلى B هو $9,8 \times 40 = 440$ كيلوبار.

بالنسبة للشبكات ذات أكثر من دائرة حلقية وبها العديد من نقط دخول التدفقات أو خروج التدفقات، يكون من المناسب عمل جدول لتنظيم ومتابعة حسابات هاردي كروس. وهذا موضح في المثال التالي ولكن أولاً يتم توضيح الطريقة العامة كالآتي :

الخطوة (١) :

لكل ماسورة في الشبكة، افترض معدل تدفق واتجاه تدفق. القيد الوحيد على هذه الفرضية الأولية للتدفقات هي أن إجمالي التدفق المتجه نحو وصلة الماسورة يجب أن يساوى التدفق الكلى الخارج من هذه الوصلة.

الخطوة (٢) :

العمل مع حلقة واحدة في وقت واحد، استخدم مخطط هازن وليام لتعيين S , h_L لكل ماسورة في الدائرة. كذلك أحسب $Q \div h_L$ لكل ماسورة.

الخطوة (٣)

احسب $\sum h_L$, $Q \div \sum h_L$ ، باستخدام العلامات المناسبة (+ أو -). مصطلحات $h_L \div Q$ دائماً موجبة.

الخطوة (٤) :

احسب ΔQ ، تصحيح التدفق للدائرة، باستخدام معادلة هاردي كروس. أضف ΔQ إلى التدفق في كل ماسورة لهذه الدائرة، احرص نحو استخدام العلاقة الصحيحة. لا تغير للتدفقات في الدوائر الأخرى مع هذه ΔQ .

الخطوة (٥) :

كرر الخطوة (٢) حتى (٤) لدائرة مجاورة في الشبكة. لاحظ أنه على الأقل أحد المواسير في الدائرة الأولى هي كذلك جزء من الحلقة المجاورة. استخدم التدفقات التي سبق تصحيحها في المواسير المشتركة، ولكن يجب مراعاة أن العلامات الجبرية للتدفقات والفقد في الضغط في المواسير المشتركة يتغير، طبقاً لما هو في الدائرة الجارية تقييمها.

الخطوة (٦) :

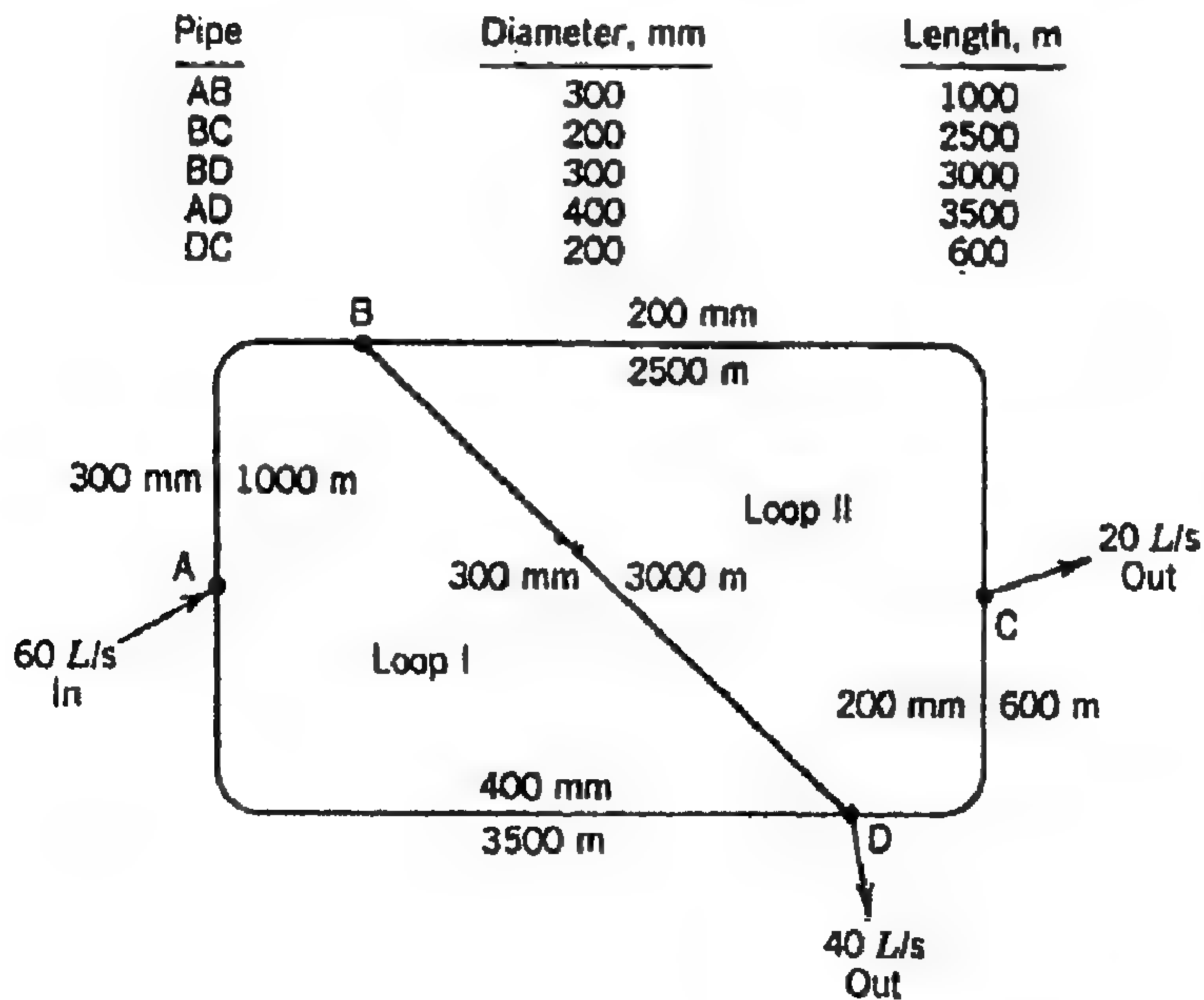
كرر الخطوات (٢) إلى (٤) لكل حلقة في الشبكة لعدد من المرات طبقاً للمطلوب للوصول عند نظام متوازن معقول. عموماً، الفرق أقل من ١٠% بين الفقد في الضغط الموجب، والفقد في الضغط السالب في الحلقة يكون مقبولا. بدلاً من $\Sigma h_L = \text{صفر}$.

مثال :

نظام توزيع المياه تم اختصاره وخفضه إلى دائرة تبين الموضح في الشكل (٤/٢٨). يتم ضخ معدل تدفق ٦٠ لتر/ث في الشبكة عند النقطة (A)، ونقطتين سحب مياه رئيسيتين عند (C)، (D)، لصرف ٢٠ لتر/ث، ٤٠ لتر/ث على التوالي. عين معدلات التدفق في كل المواسير في الشبكة.

الحل :

الحسابات الموضحة في الخطوات من ١ إلى ٦ في طريقة هاردي كروس تم تلخيصها في الجدول (٤/٥).

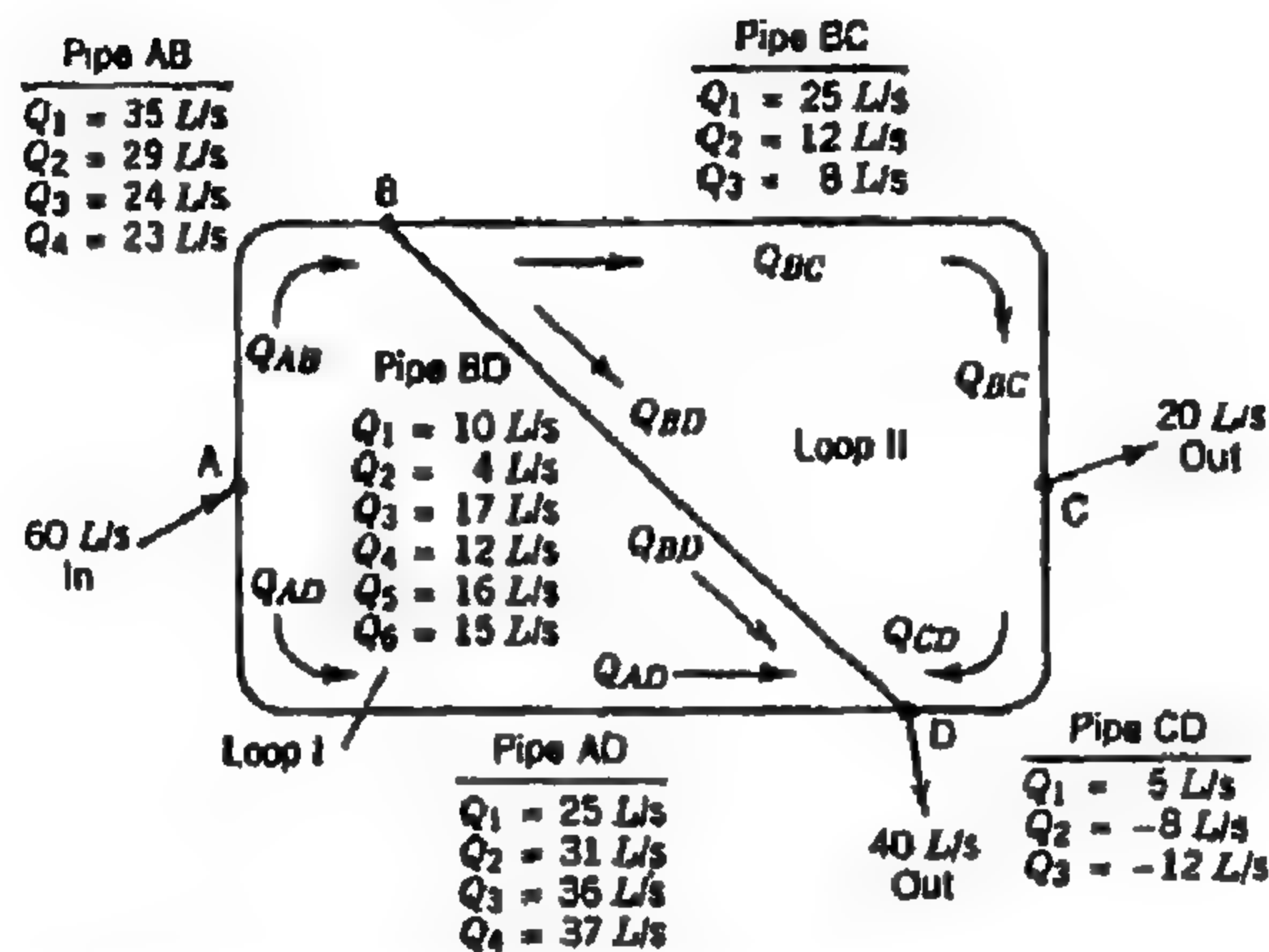


شكل (٤/٢٨) توضيح للمثال

توقيع للتدفقات الصحيحة موضح في الشكل (٤/٢٩). لاحظ أن تصحيح التدفق في BD ($\Delta Q + Q = 4$ لتر/ث) من الحلقة I / المحاولة الأولى استخدمت بعلامة موجبة في

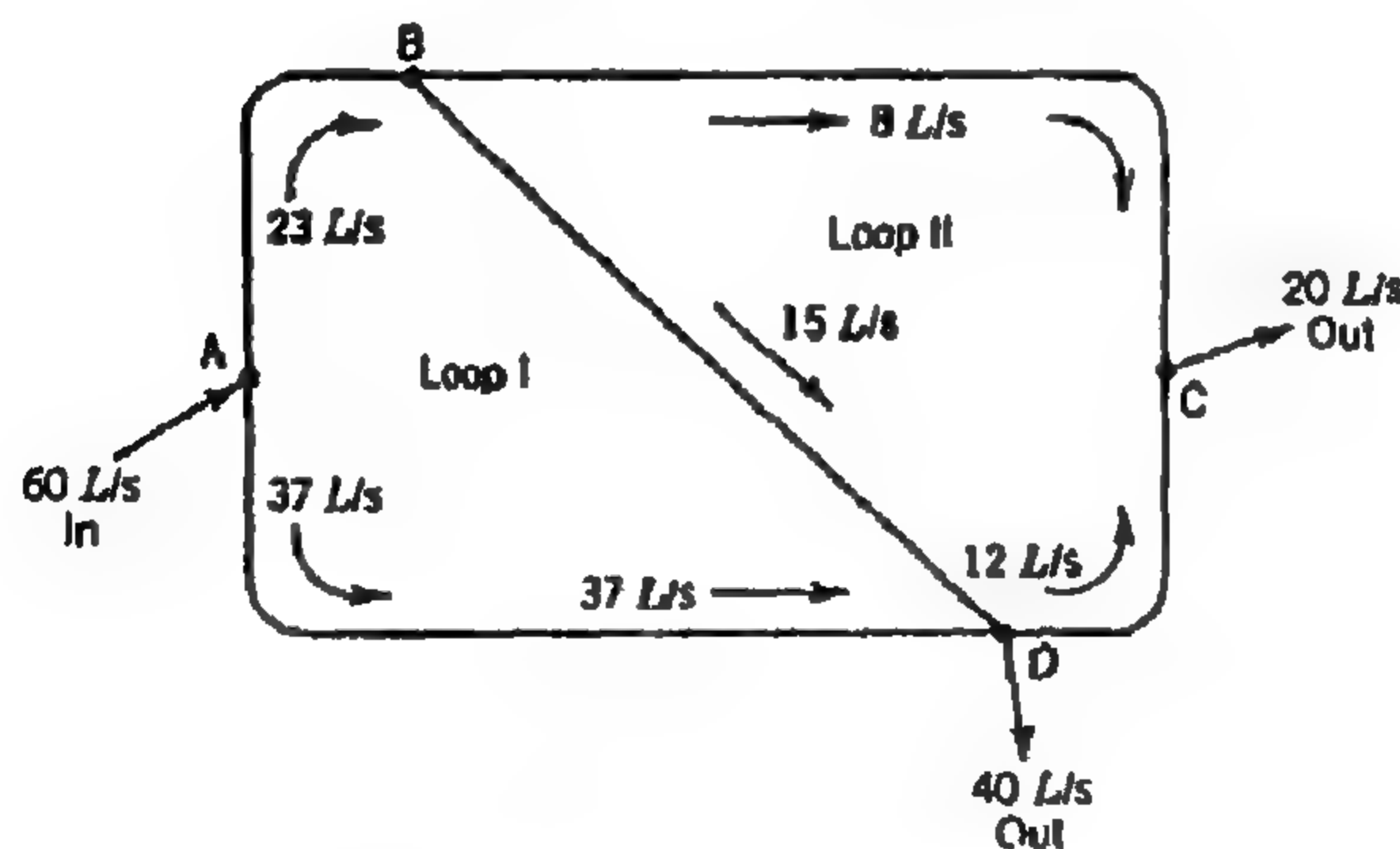
حسابات للحلقة II/ المحاولة الأولى. هذا لأن الماسورة BD مشتركة في الحلقتين، بينما التدفق في اتجاه عقرب الساعة في الحلقة II، فإنه في اتجاه عكس اتجاه عقرب الساعة في الحلقة II. هذه العلامة المعكوسة للتدفقات في BD يحدث متكررا، كما هو موضح في باقي الحسابات.

معدلات التدفق النهائية في الشبكة المتوازنة موضحة في الشكل (٤/٣٠).



شكل (٤/٢٩) ملخص لافتراضات التدفق الأولى ثم التدفقات

التي تم تصحيحها في المثال



شكل (٤/٣٠) ائزان معدلات التدفق لاحظ أن استمرار التدفق ينطبق على كل وصلات المواسير (Q_{out})

عند النقطة (A) $Q_{in} = 60 = 23 + 37$ ، عند (B) $23 = 10 + 8$ ، عند (C) $20 = 12 + 8$

النقطة (D) $40 = 12 + 28 = 37 + 10$

الفصل الخامس

نظم شبكات مواسير الصرف الصحي

مقدمة :

يتكون نظام جمع مياه الصرف الصحي من شبكة خطوط المواسير، محطات الضخ، القنوات، والمهمات لنقل مياه الصرف الصحي إلى محطة المعالجة، أو المصرف. مياه الصرف يمكن أن تكون مياه صرف صحي، صرف صناعي، مياه أمطار أو خليط من الثلاثة.

الصرف الصحي يحتوي على المخلفات الأدمية، ومياه الغسيل من التجمعات السكنية أو المنشآت التجارية والصناعية. الصرف الصناعي هو المياه المستخدمة في عمليات التصنيع. وهذه عادة تحتوي على العديد من المركبات الكيماوية. مياه الأمطار تحمل مواد عضوية ومواد صلبة عالقة ومذابة ومواد أخرى تم التقاطها أثناء رحلتها فوق سطح الأرض. خطوط المواسير التي تحمل خليط من هذه الأنواع الثلاثة من مياه الصرف تسمى شبكة المواسير المشتركة (Combined Sewers). شبكات المواسير المشتركة تم إقامتها في القرن التاسع عشر في المدن القديمة. ومعظم هذه النظم والتي بعضها أكثر من ١٠٠ عام مازال يعمل حتى الآن.

شبكة المواسير المشتركة (Combined Sewers) تتكون من مواسير كبيرة الحجم أو أنفاق. ذلك لأن حجم مياه الأمطار والسيول الذي يجب حمله أثناء حدوث الأمطار يكون كبيراً. حجم مخلفات الصرف الصحي صغير جداً مقارنة بتدفقات مياه الأمطار والسيول. للمحافظة على سرعة تدفق مياه الصرف في المواسير ذات الأقطار الكبيرة، فإن المواسير المشتركة يمكن أن يكون لها الشكل الموضح في الشكل (٥/١-أ). أثناء المناخ الجاف تتدفق مياه الصرف في القناة الصغيرة عند القاع.

حالياً شبكات المواسير المشتركة الموضحة في الشكل (٥/١-ب) توقف استخدامها. بدلاً منها تم إنشاء شبكات مواسير منفصلة، حيث شبكة لتجميع مياه الأمطار حتى نقطة الصرف، وشبكة للصرف الصحي والصرف الصناعي الذي سبق معالجته حتى محطة معالجة الصرف الصحي. وهذا موضح في الشكل (٥/١-ج).

السبب الرئيسى فى بناء نظم منفصلة هو أن المحطات التقليدية لمعالجة مياه الصرف الصحى ليس لها طاقة استيعاب الأحجام الضخمة لمياه الأمطار عند حدوث الأمطار. ولهذا فإن مياه الأمطار المخلوطة مع مياه الصرف الصحى يجب تمريرها حول محطة المعالجة مباشرة إلى المسطح المائى، بما يسبب تلوث للمياه. فى بعض المدن الكبيرة يمكن توجيه النظام المشترك إلى أحواض تجميع ضخمة ثم تطهيرها قبل الصرف على المسطح المائى حالياً. صممت خطوط مواسير منفصلة لمنع مشكلة النظام وذلك بنقل مياه الصرف الصحى فقط إلى محطة المعالجة.

فى معظم نظم خطوط مواسير الصرف الصحى تتدفق مياه الصرف بالجاذبية، فى مواسير ممثلة جزئياً والتي ليست تحت ضغط. أحياناً يتم نقل مياه الصرف الصحى تحت الضغط فى خطوط مواسير تسمى خطوط الرفع (Force Mains) إلى محطة المعالجة أو إلى النقطة حيث يمكن أن تتدفق ثانياً بفعل الجاذبية. فى بعض الحالات يمكن أن يتكون نظام خطوط مواسير الصرف الصحى لمساحة محلية من مواسير ذات قطر صغير نسبياً تحت الضغط، وهذه تسمى خطوط مواسير الصرف تحت الضغط (Pressure Sewer Systems). فى بعض الحالات تستخدم مواسير التفريغ (Vacuum Sewers) التى تستخدم عملية المص (Suction) لتحريك مياه الصرف. فى هذا الفصل سيتم التركيز على نظم شبكات مواسير الصرف، متضمناً عوامل التصميم، المواد، المهمات، الإنشاءات، التسرب والدفق (Infiltration , Flow)، والإصلاح.

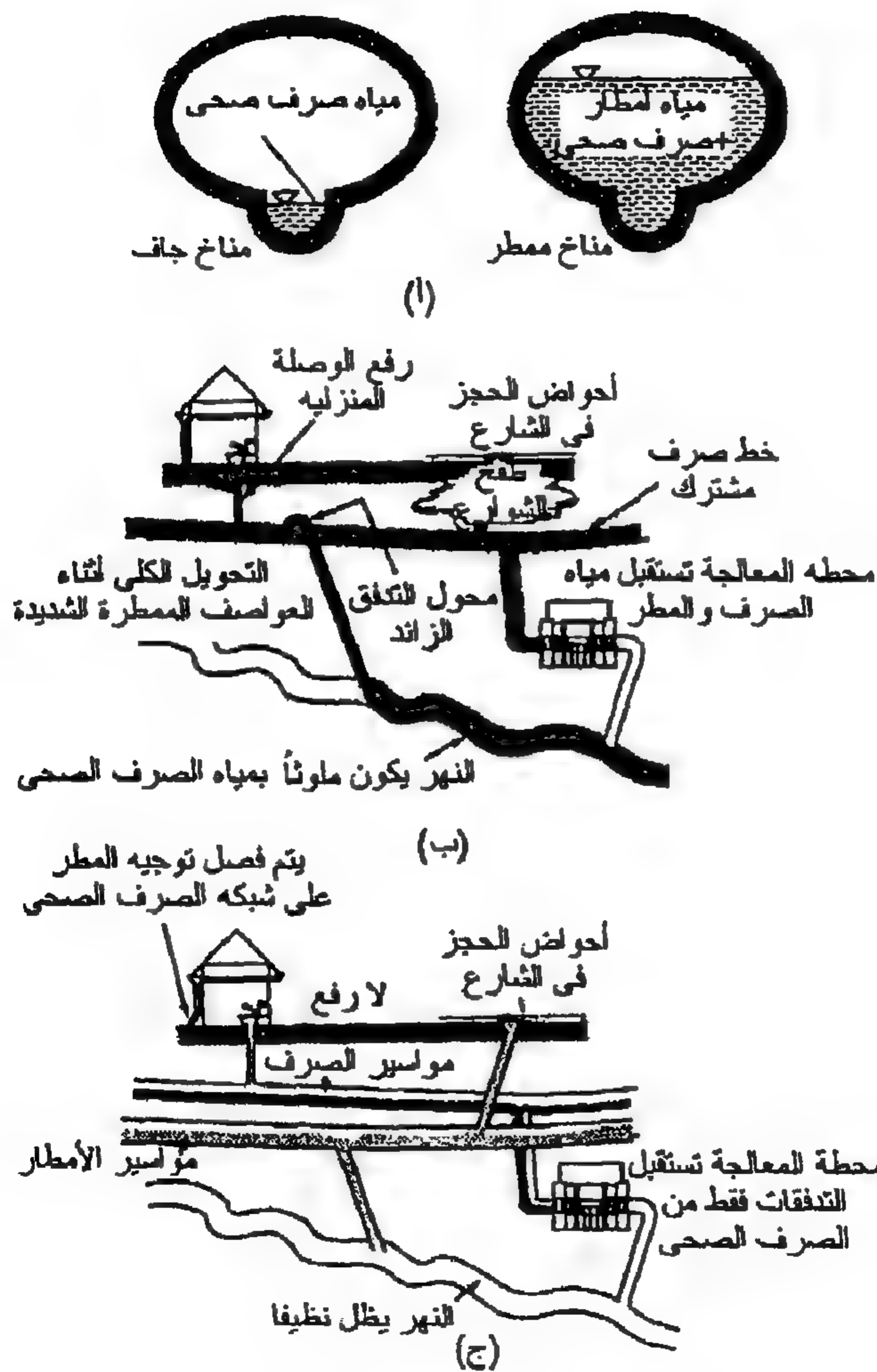
١ - تصميم خطوط مواسير تجميع مياه الصرف الصحى :

مواسير تجميع مياه الصرف الصحى مباشرة من المنازل تسمى فرعات المواسير (Lateral sewers) باستثناء الوصلات المنزلية المنفصلة، فإن هذه هى مواسير الصرف ذات أصغر قطر فى الشبكة. فرعات المواسير تحمل مياه الصرف بالجاذبية إلى مواسير تجميع (Collection Sewers)، التى هى بالتالى متصلة بمواسير أكبر فى الحجم تسمى (Trunk line or Interceptors)، وهذه تحمل مياه الصرف إلى محطة المعالجة حيث يتم إزالة معظم الملوثات قبل الصرف على المسطح المائى. وهذه عادة توضع فى أوطأ جزء فى منطقة الخدمة أو حوض الصرف ويمكن أن تنشأ موازية لأرضية الوادى أو قاع النهر.

المواد والملحقات : (Materials and Appurtenances)

المواسير المستخدمة فى نظم الصرف الصحى يجب أن تكون قوية وذات قدرة تحمل عالية لمقاومة خواص الاحتكاك والتآكل لمياه الصرف الصحى. كما يجب أن تكون قادرة على مقاومة الإجهادات بفعل مواد الردم من التربة، والتى يتم وضعها فى الخندق المحفور لتغطية المواسير،

وكذلك تأثير حركة المرور فوق خط المواسير. الوصلات بين مقاطع المواسير يجب أن تكون مرنة، وفي نفس الوقت محكمة التوصيل لمنع حدوث التسرب، إما للصرف الصحي خارج الماسورة أو المياه الأرضية إلى داخل الماسورة. بالإضافة إلى استخدام المواد المناسبة لتحقيق كل هذه المتطلبات، فإنه من الضروري وجود العديد من الملحقات للأداء الجيد لشبكة المواسير. وهذه تتضمن غرف التفريش (المطابق Manholes) السيفونات المقلوبة، محطات الرفع، عدادات قياس التدفق. عدادات القياس تم تناولها في الفصل الثاني (الهيدروليكا)، محطات الرفع في الفصل السادس (معالجة الصرف الصحي).



شكل (٥/١) (أ) مقطع في خطوط المواسير المشتركة لحمل مياه الصرف ومياه الأمطار. القناة الصغيرة عند القاع تحمل الصرف الصحي عند سرعة النظافة الذاتية أثناء المناخ الجاف. أثناء المطر تختلط مياهه مع مياه الصرف. (ب) أثناء المطر الشديد يتم توجيه معظم المطر والصرف نحو المجرى المائي حيث أن ذلك فوق طاقة محطة المعالجة (ج). في الإنشاءات الحديثة تستخدم خطوط صرف صحي مستقلة.

مواسير الفخار المزجج : (Vitrified Clay Pipes)

الفخار المزجج مادة جيدة لمواسير الصرف الصحي نظراً لمقاومته للتآكل أو التلسف بفعل الأحماض والكيماويات الأخرى. وهو كذلك يقاوم البرى والفرك (Scour) من مواد الاحتكاك التى تحملها التدفقات، ولكنه ذو قصافة (Brittle) ويمكن أن يتهشم بسهولة. لذلك فإنه يجب الحرص فى التداول أثناء الإنشاء وكذلك الوضع المناسب فى الخندق والذى يسمى الأساس أو الفرشة (Bedding) الذى يوفر الحمل لمقاومة الأحمال الخارجية.

ماسورة الفخار المزجج متاحة بأقطار من ١٢" إلى ٩٦". وصلات الضغط الحلقية بين الرأس والذيل تستخدم عادة لتوصيل قطاعات المواسير.

المواسير من الخرسانة المسلحة : (Rein Forced Concrete Pipes)

المواسير الخرسانية المسلحة تكون مناسبة للأقطار الكبيرة حيث تتوفر بأقطار حتى ٦ متر (٢٨٨ بوصة) وبأطوال حتى ٨ أمتار (٢٥ قدم). وهى مادة ماسورة قوية، ولكن الخرسانة ذات حساسية للتلف فى وجود غاز كبريتيد الهيدروجين. هذه المشكلة المسماة تآكل قمة السطح الداخلى للماسورة (Crown Corrosion) سيتم مناقشتها لاحقاً فى هذا الفصل. العديد من طرق التبطين لحماية السطح الداخلى يمكن أن تحمى الماسورة من هذا التآكل. وصلات بين الرأس والذيل هى عموماً حلقة المطاط.

الماسورة من البلاستيك :

زاد استخدام مواسير البلاستيك فى خطوط مواسير الصرف التى تعمل بالجاذبية ذلك بسبب خفة وزنها وسهولة تداولها أثناء الإنشاء. وهى ماسورة مقاومة للتآكل وسطح ماسورة البلاستيك الناعم يوفر خصائص هيدروليكية جيدة. أحد أنواع البلاستيك المستخدمة فى صناعة المواسير هو البولى فينيل كلوريد (PVC)، وهذه متاحة من أقطار حتى ٣٠ بوصة وبأطوال حتى ٦ متر. يمكن توصيل الرأس والذيل إما بالحلقة المطاط أو بوصلة اللحام الكيماوى. كذلك يستخدم البولى إيثيلين عالى الكثافة.

مواد أخرى :

الأسبستوس الأسمنتى، الزهر المرن، والصلب تستخدم أحياناً فى صناعة مواسير الصرف الصحي. ماسورة الأسبستوس الأسمنتى خفيفة إلى حد ما وسهلة التداول أثناء الإنشاء، ولكنها معرضة للتلف عند وجود كبريتيد الهيدروجين أو الأحماض. مواسير الزهر المرن والصلب تستخدم عادة فى خطوط الضغط وفى محطات الضخ حيث تكون

مياه الصرف تحت الضغط، في الحالات الغير عادية للتحميل الخارجى، أو أن يكون خط المواسير مقام قريباً من أو فوق سطح مائى.

المطابق (غرف التفتيش) : (Manholes)

المطابق هى الإنشاءات التى توفر سهولة الوصول إلى خط المواسير للتنظيف، الإصلاح، أخذ العينات، قياس التدفق. وهى عادة دائرية المقطع، وذات قطر لا يقل عن ١,٢٥ متر (٤ قدم) بما يمكن العامل بالتحرك داخلها بدون صعوبة كبيرة.

المطابق التقليدى للخطوط الفرعية موضح فى الشكل (٥/٢). القاع مصنوع من الخرسانة مع وجود قناة شبه دائرية تربط مداخل ومخارج مواسير الصرف. عادة يتم استخدام مقطع ماسورة خرسانية سابقة التجهيز لبناء المطابق حتى الدرجة المطلوبة، ذلك رغم أن الطوب، الكتل الخرسانية، أو الخرسانة العادية يمكن كذلك استخدامها فى الإنشاء. إطار وغطاء من الحديد الزهر يتم توفيرها لحمل أحمال المرور ومنع التسرب للمياه السطحية.

المطابق توضع فوق محور الماسورة تحت الظروف الآتية :

١- عند وجود تغير فى قطر خط المواسير.

٢- عند وجود تغير فى ميل خط المواسير.

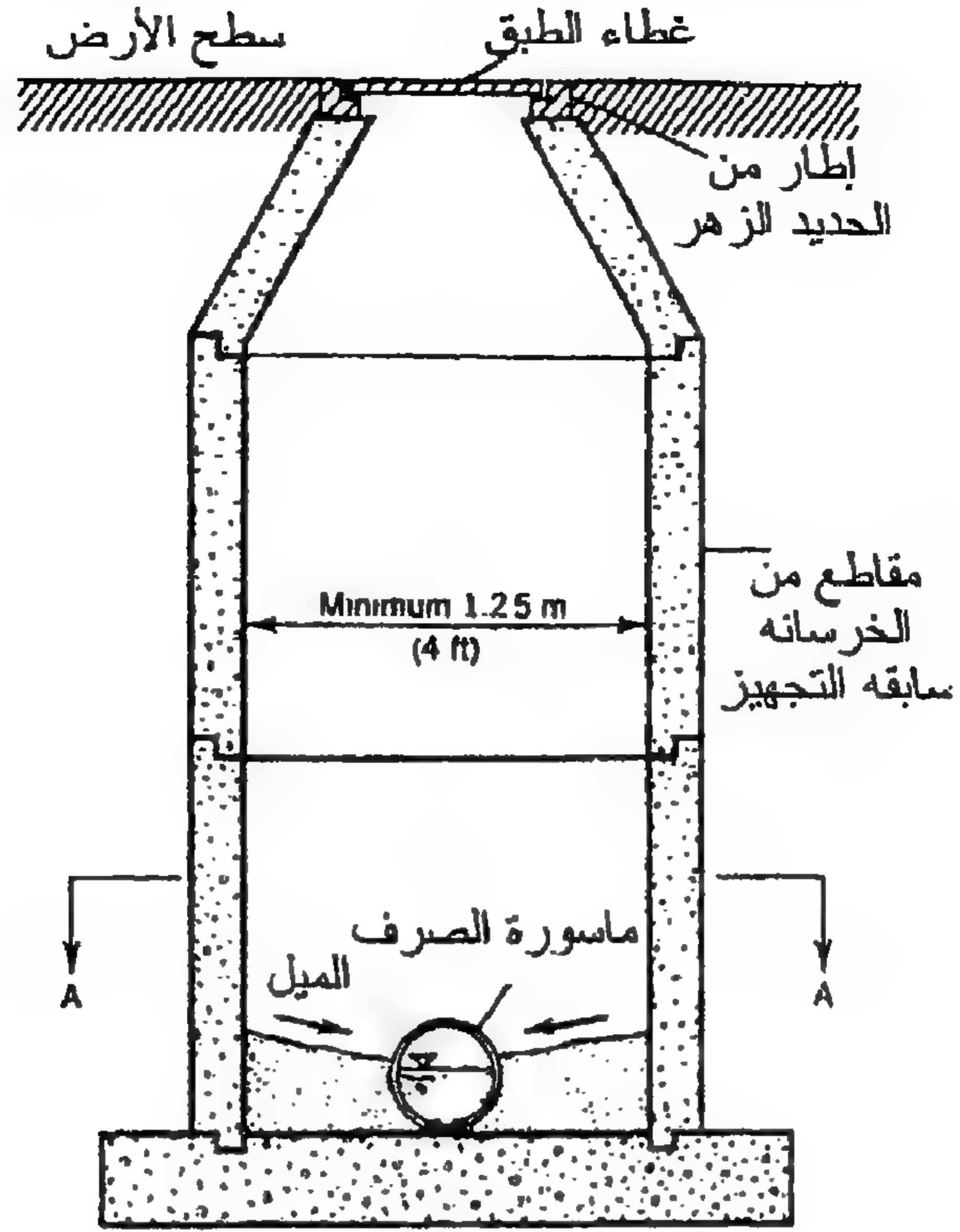
٣- عند وجود تغير فى اتجاه خط المواسير.

٤- فى كل تقاطعات المواسير.

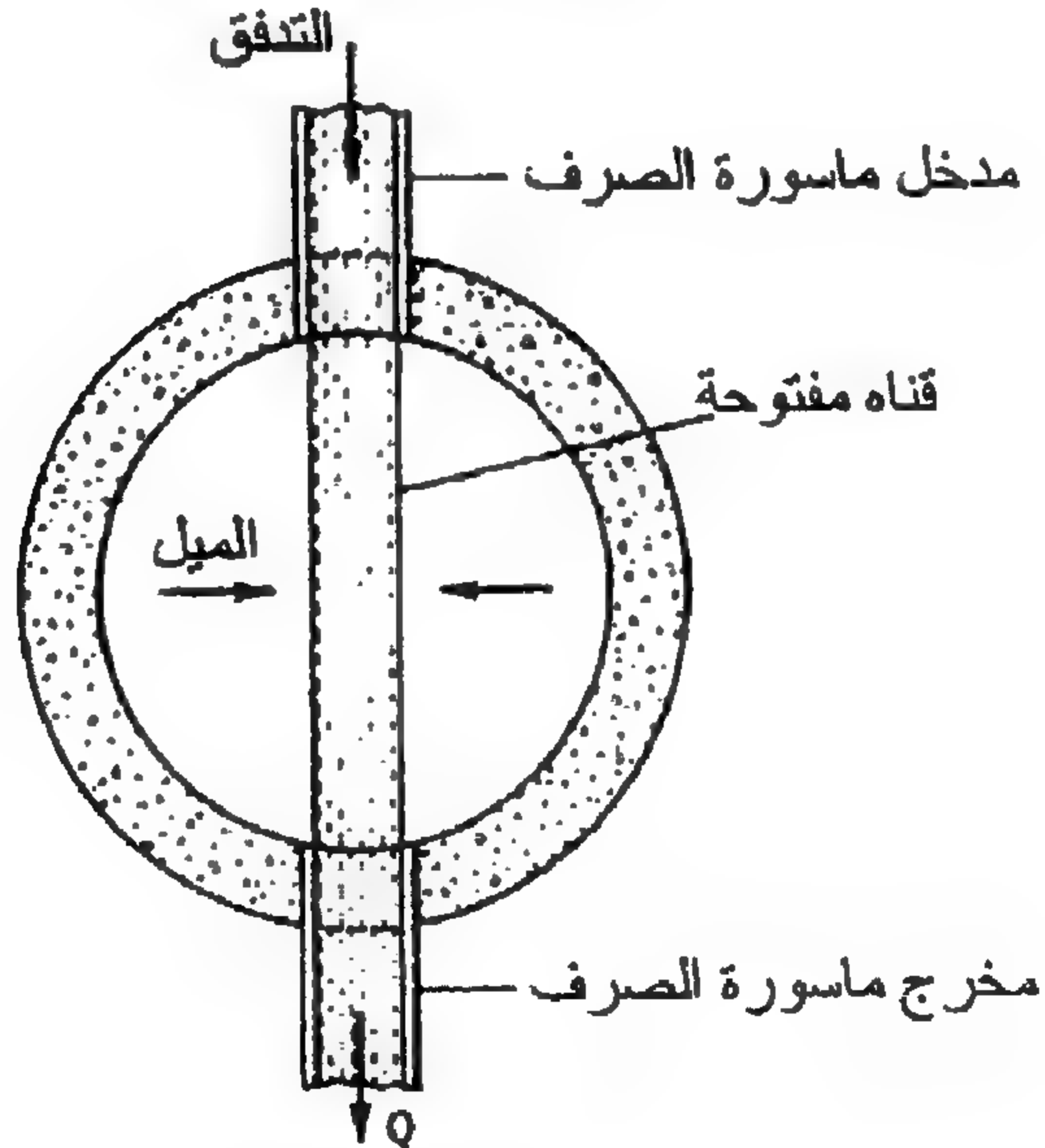
٥- عند النهاية لكل فرعة.

٦- على فترات لا تزيد عن ١٥٠ متر (٤٠٠ قدم).

أحياناً، عند وصلات فرعات المواسير مع مواسير أعمق، فإن استخدام المطابق الساقطة سوف يقلل كمية الحفر اللازمة وذلك لاستمرار الفرعة بالميل الضحل. وهذا موضح فى الشكل (٥/٣). مياه الصرف تسقط فى الماسورة السفلية خلال الماسورة الأفقية عند المطابق. فى هذه الطريقة، يتم حماية العامل من تدفقات الصرف الآتية.

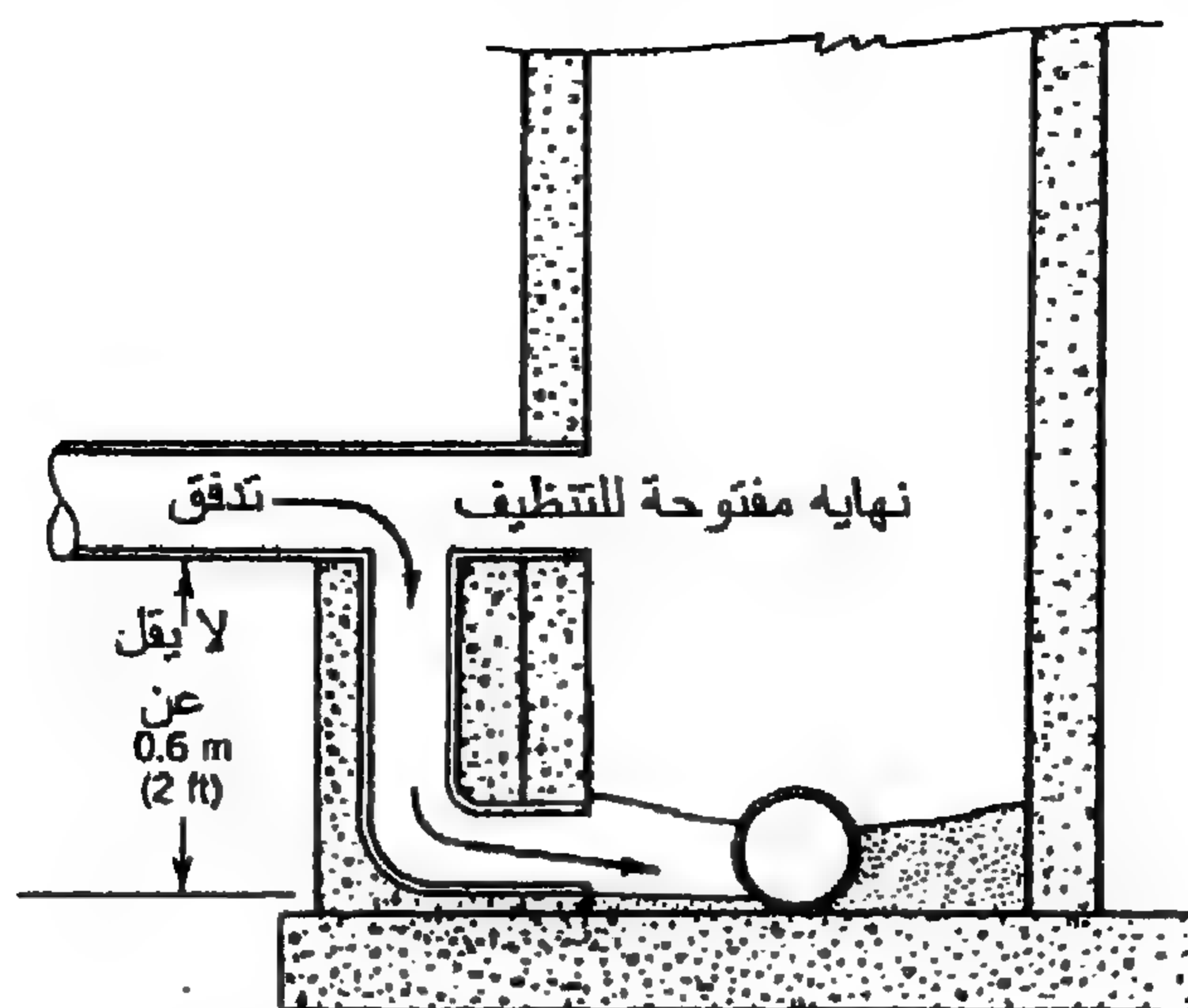


مقطع طولى (a)



A-A المقطع (b)

شكل (٥/٢) مقطع لغرفة تفتيش الصرف الصحي، والتي توفر سهولة التفتيش على خط المواسير، نظافته، إصلاحه، وأخذ العينات وقياس التدفقات



شكل (٥/٣) نموذج لغرفة التفطيش بالسقوط

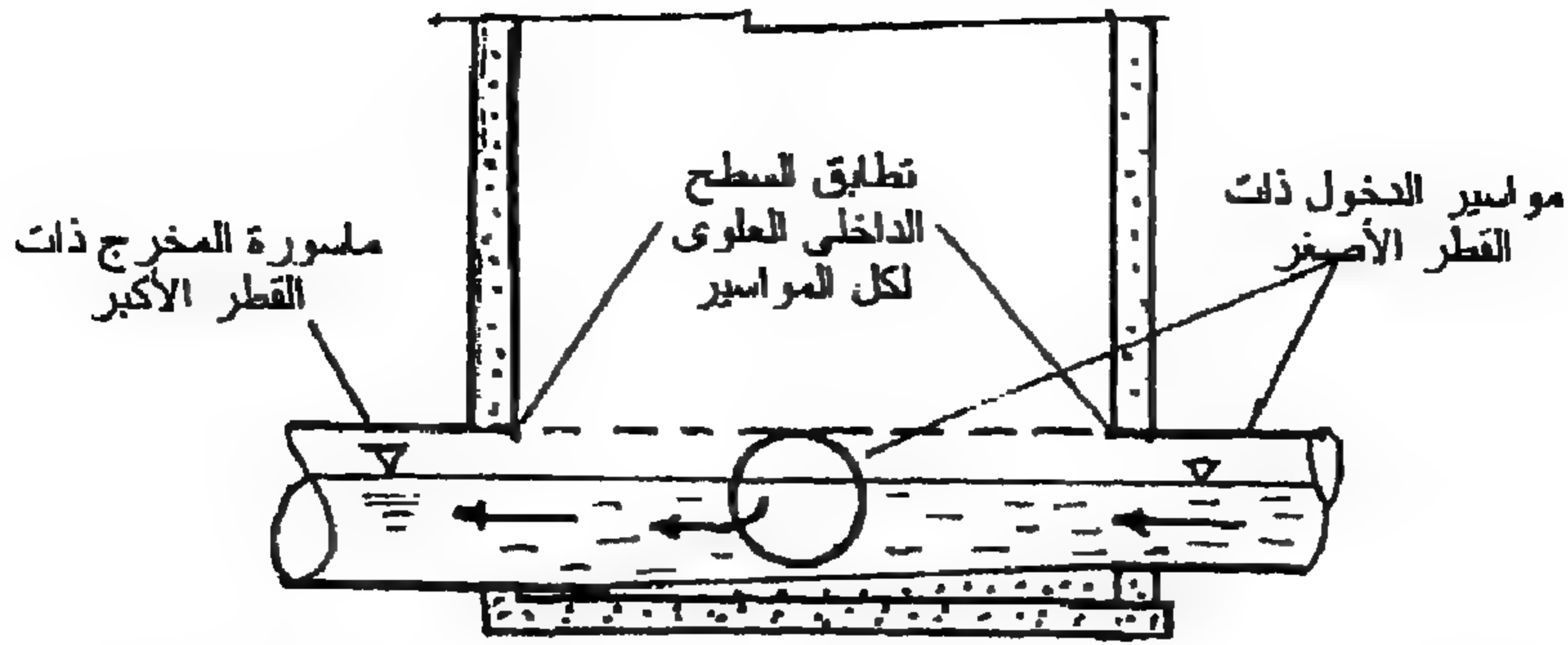
يتم بناء غرفة التفطيش (المطبق) بما يسبب أدنى فقد في الضغط والتداخل مع هيدروليكا خط المواسير. أحد الطرق للمحافظة على استمرار التدفق السلس خلال غرفة التفطيش هو عند استخدام ماسورة صغيرة متصلة مع واحدة بقطر أكبر، فإن ذلك يتم بتساوي منسوب السقف الداخل العلوي للماسورتين عند المطبق وهذا موضح في الشكل (٥/٤).

معايير خطوط مواسير الصرف : (Sewer Crossings)

يمكن إنشاء خط المواسير عبر المجرى المائي، تقاطع الطريق العام، أو أي عوائق أخرى. عند الإنشاء أسفل سطح الأرض، فإن مقطع خط المواسير أسفل المجرى المائي أو الطريق يسمى السيفون المقلوب (Inverted Syphon) أو خط المواسير المدفون. مقطع في خط المواسير المدفون موضح في الشكل (٥/٥). يمكن أن نرى أن هذا المقطع من خط المواسير هو تحت خط انحدار هيدروليكي، وهو يتدفق ممتلئاً وتحت الضغط.

للمحافظة على سرعة التدفق لتكون عالية بما يكفي لمنع المواد الصلبة من الترسيب في الماسورة، فإنه تستخدم لذلك منطقتين أو ثلاث من المواسير المتوازية لحمل أدنى تدفقات، التدفقات المتوسطة والتدفقات العالية. حيث أن السيفون يكون تحت ضغط، فإنه يتم توفير غطاء من حديد الزهر الرماي أو الخرسانة لمنع التسرب.

في بعض الحالات، يكون عبور المجرى المائي أو أي منطقة طبوغرافية منخفضة فوق سطح الأرض أكثر اقتصادياً. فمثلاً، خط المواسير يمكن أن يكون معلقاً على كوبري مقام. أحياناً يمكن عبور الانخفاض الضحل بحمل المواسير على بغال من الخرسانة.



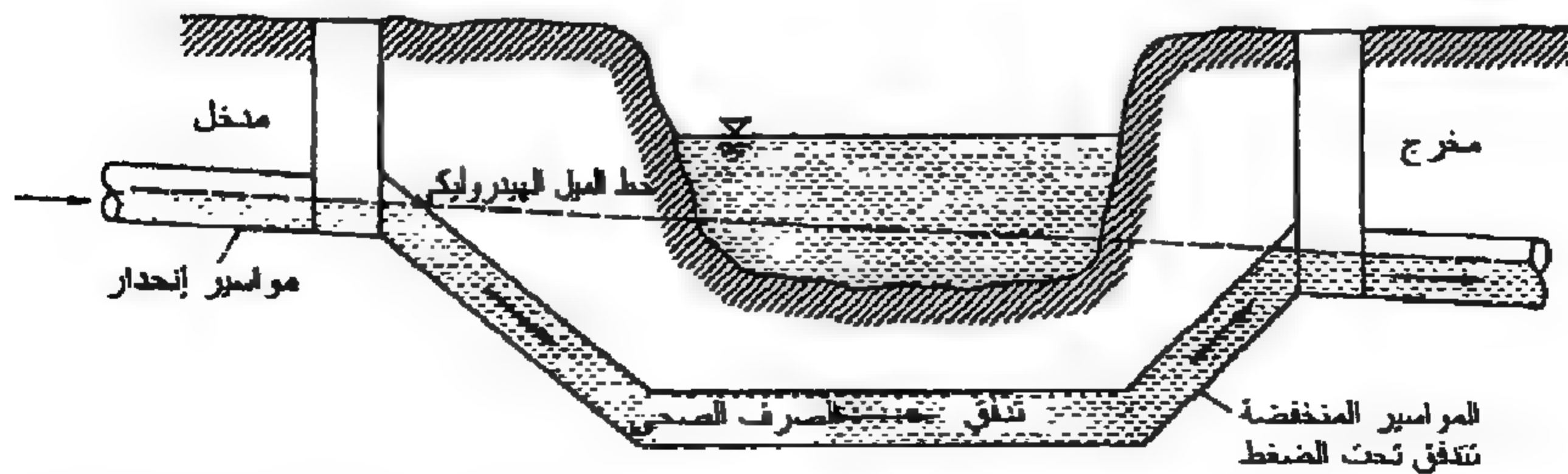
شكل (٥/٤) عند تقاطع المواسير عند المطبق بأقطار مختلفة فإن ارتفاع السطح العلوي للمواسير يمكن أن يكون متساوياً وذلك لإمكان التدفق السلس لانتقال السائل.

مكان ووضع خطوط مواسير تجميع الصرف الصحي :

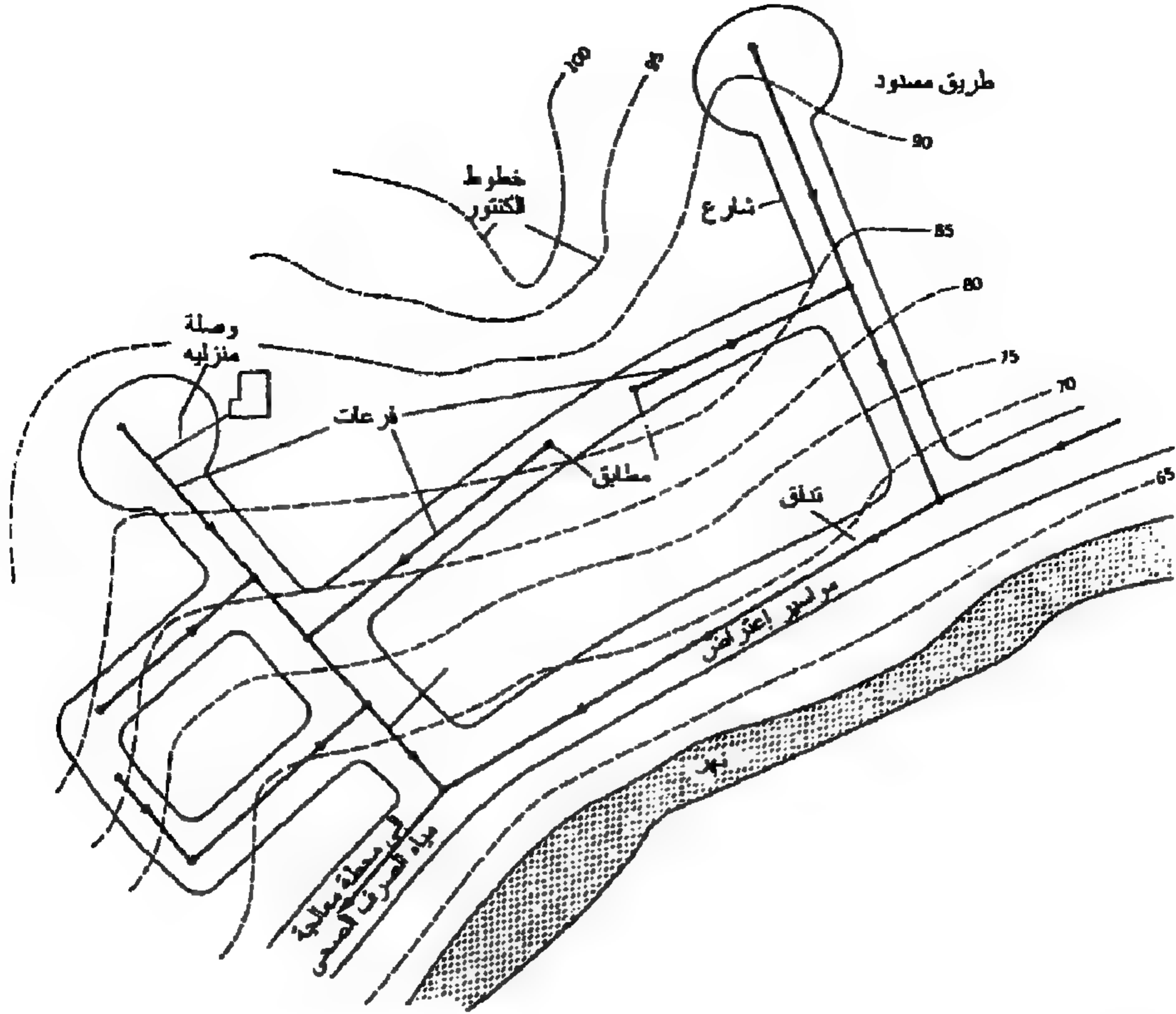
(Sewer Location and Layout)

قبل البدء في التصميم التفصيلي لنظام تجميع الصرف، فإن المنطقة التي يتم فيها إنشاء خطوط مواسير الصرف يجب عمل الدراسات الحقلية لها للحصول على البيانات الطبوغرافية. يمكن استخدام خريطة لإمكان عمل الوضع الأولي لخطوط المواسير. عموماً يتم وضع خطوط المواسير، قريباً من منتصف الشارع وذلك لإمكان خدمة المنازل على الجانبين، أحياناً توضع الحواري والأزقة أو في مساحات عبر الملكية الخاصة. يقوم المصمم بعمل مخطط أولي لأوضاع خطوط المواسير وغرف التفتيش في الشوارع على الخريطة، بهدف الحصول على التدفق بالجاذبية كلما أمكن ذلك.

يتم تجنب خطوط الضغط ومحطات الطلمبات بسبب التكاليف المضافة وكذلك مشاكل التشغيل، ميل الأرض يحدد درجة الجاذبية أو حالات التدفق للقناة المفتوحة وإمكان استمرارها. نموذج لتخطيط نظام الصرف موضح في الشكل (٥/٦).



شكل (٥/٥) الماسورة المنخفضة أو السيفون المقلوب كحمل تدفقات الجاذبية أسفل مانع على طول مسار خط المواسير



شكل (٥/٦) يتم وضع خطوط مواسير الصرف لتوفير التدفق بالجاذبية كلما أمكن ذلك. يفضل تجنب الحاجة إلى محطات الضخ

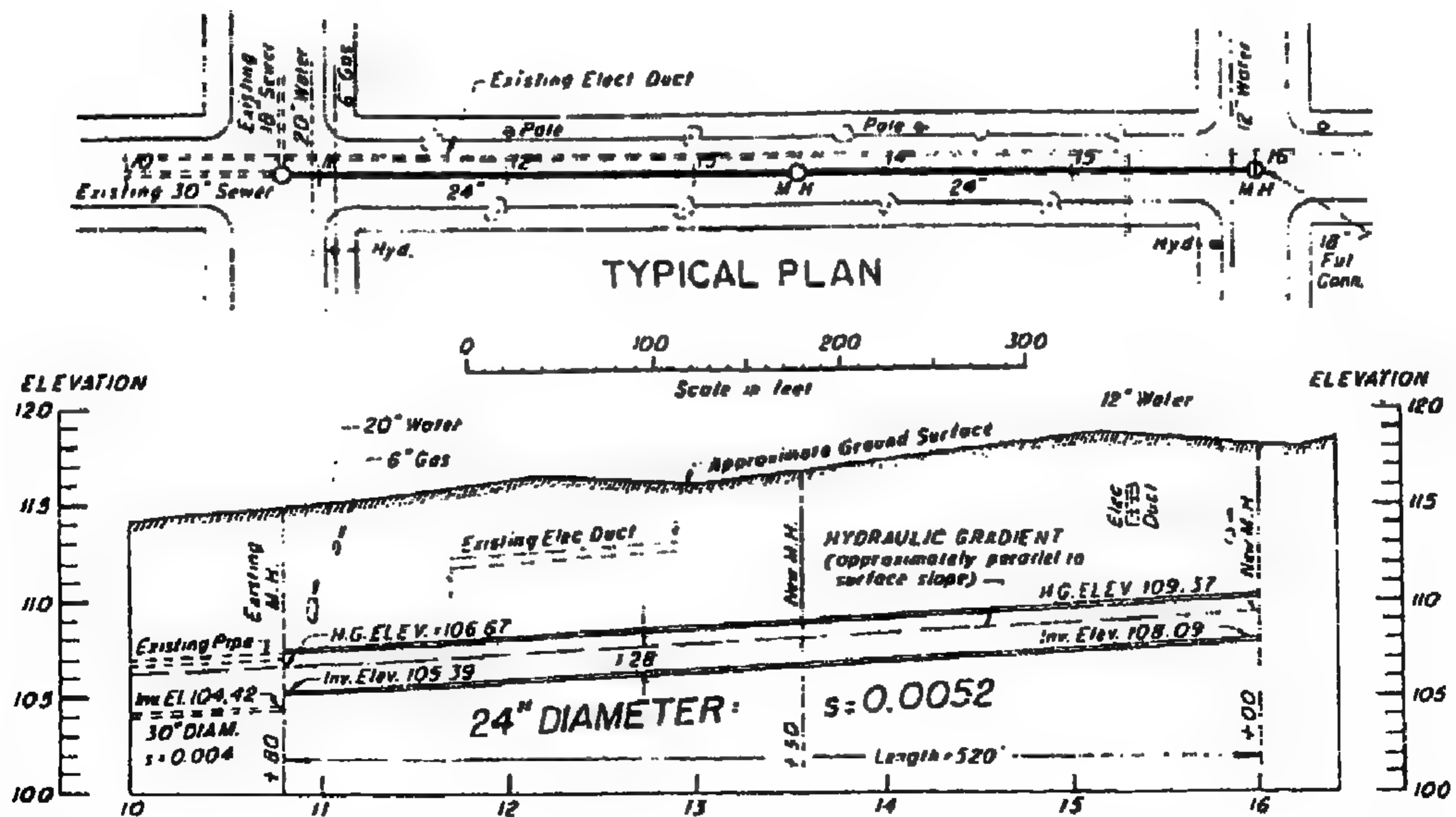
من واقع بيانات المساحة الحقلية، يمكن تحضير خرائط تفصيلية لكل شارع بمقياس رسم كبير نسبياً مبيناً أماكن المنازل المطلوب خدمتها بخطوط الصرف وكذلك أماكن مواسير صرف الأمطار ومواسير المياه والغاز. في المناطق الحضرية فإن زيادة كثافة المرافق الأخرى تحت سطح الأرض عادة يكون سبباً في تعقيد التصميم والإنشاء لخطوط مواسير الصرف الجديدة.

الأشكال الجانبية للشوارع والمرافق يتم رسمها عموماً أسفل المخطط الراسي مباشرة. هذا الإسقاط والرسومات الجانبية تعمل كرسومات عملية أثناء مرحلة التصميم التفصيلي. التصميم النهائي للنظام يتم عندئذ إضافته للرسومات والتي تعمل كجزء من وثائق مقالة الإنشاء. البيانات من أعمال حساب التربة، متضمنة العمق إلى الطبقة الصخرية والمياه الجوفية، يتم توضيحها كذلك على المخططات، وأحياناً تسجيلات الحفر يتم تضمينها مع وثائق المقالة.

الرسومات الإنشائية لنظام شبكة مواسير الصرف يجب أن تبين مكان وعمق وقطر وميل خط المواسير بما يمكن مقاول الإنشاء من سرعة الحفر للخندق ووضع مقاطع المواسير عند المكان المناسب وبالميل المناسب. نموذج لإسقاط خط المواسير والشكل الجانبي موضح في الشكل (٥/٧). بالإضافة إلى توضيح قطر الماسورة والميل، فإن الرسومات تبين أماكن غرف التفتيش، وارتفاع القاع السفلى الداخلى للماسورة منسوباً إلى منسوب سطح البحر (Pipe Invert Elevation). سيتم مناقشة هذا في مثال خلال هذا الفصل.

تفاصيل الإسقاط والشكل الجانبي : Plan and Profile Details

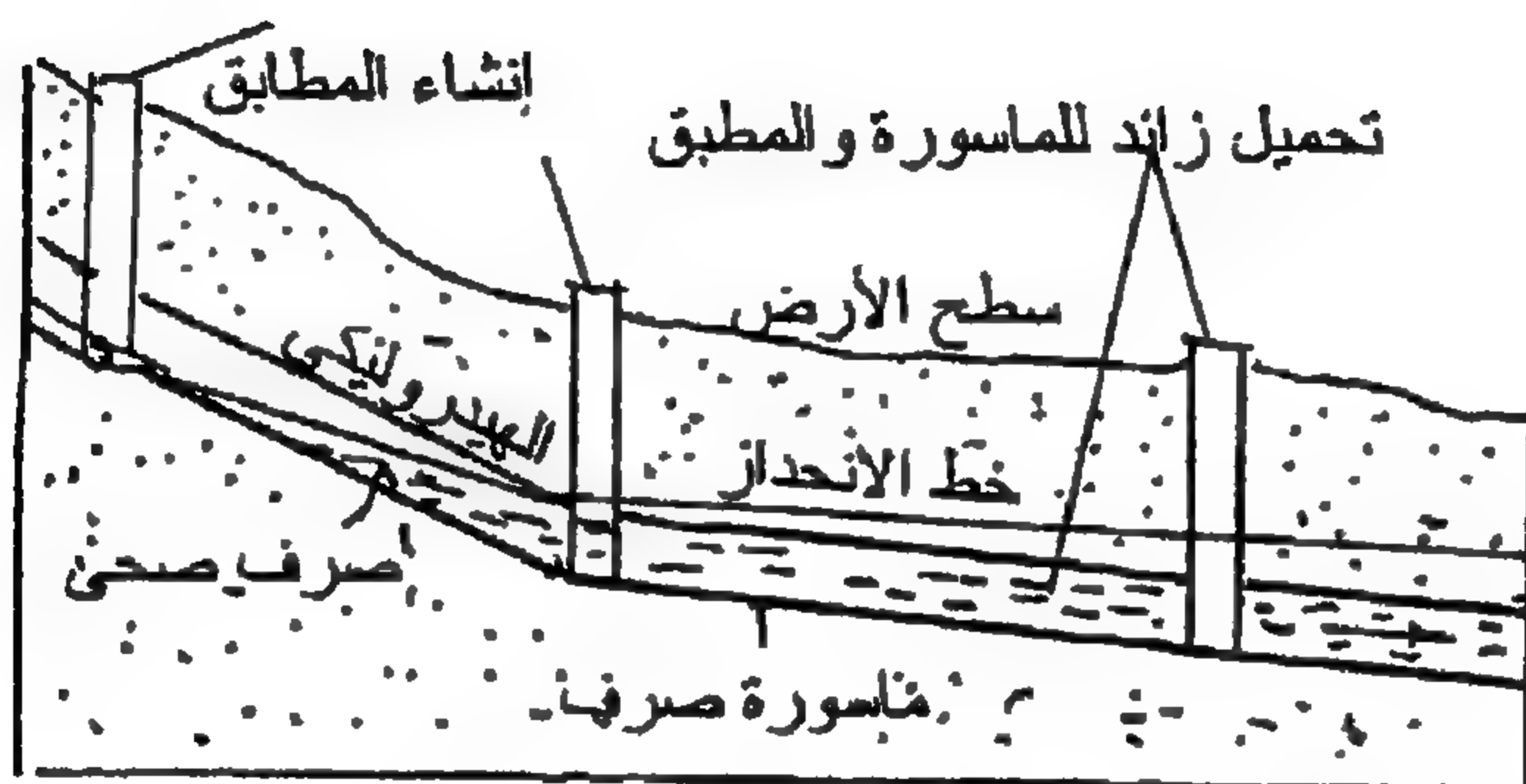
في الشكل (٥/٧) المسقط العلوى لخط المواسير موضح فوق المنظر الجانبي مباشرة، وكلا الشكلين مستقيمين. وهذه ليست الواقع. خطوط مواسير الصرف يمكن أن تغير اتجاهها عدة مرات في المسقط الرأسى، ولكنها تظل دائماً في منسوب مستوى على الرسم الجانبي، وبذلك تظهر كخط مستقيم. المقياس الرأسى للمنظر الجانبي يتم تكبيره بنسبة ١٠:١ للتوضيح وتقدير الارتفاعات الهامة والميول. كثيراً من الرسومات التنفيذية لشبكة المواسير تحتوى على مصطلحات ورموز، والتي تستخدم لتعيين المسافة من نقطة البداية (عادة غطاء غرفة تفتيش) في تقاطع الطريق.



شكل (٥/٧) مسقط رأسى وجانبى لخط مواسير الصرف الصحى والذي يوضح مكان، عمق، وقطر وميل خط المواسير، وكذلك مكان خطوط الخدمة الأخرى

كمية الصرف الصحي : (Quantity of Sewage)

قبل تعيين قطر وميل الماسورة فإنه من الضروري وجود تقدير لكمية مياه الصرف الذي سوف تحمله. في الواقع، كمية مياه الصرف التي تحملها الماسورة ليست ثابتة مع الوقت. معدل التدفق يتغير خلال اليوم، موضح في الشكل (٥/٨). يجب تصميم مواسير الصرف لتحمل أقصى معدل تدفق وليس متوسط معدل التدفق. وكذلك يجب أن تحافظ على سرعة التنظيف الذاتي. قد يتم تصميم الفرعات لتكون ذات طاقة تدفق ممثلة أي ٤ أضعاف معدل التدفق المتوسط. خطوط الصرف الرئيسية (التجميع) يجب أن تكون طاقتها ٢,٥ ضعف متوسط التدفق.



شكل (٥/٨) عندما يكون قطر ماسورة الصرف والميل ليسا مناسبين لحمل التدفقات القصوى لميل الصرف، فإن النظام يصبح في حالة التحميل الزائد مؤقتاً.

أقصى معدلات للتدفق تأكيدها قليل في مواسير الصرف كبيرة القطر ذلك لأن كل مصادر صرف المياه في منطقة كبيرة ليس من المحتم أن تنتج صرف في الشبكة في نفس الوقت. ولذلك، فإن هذا ينظم الإطار العام للتدفق، مع الوقت، تصل مياه الصرف إلى محطة المعالجة، حيث يوجد تغيرات كثيرة بالنسبة لأقصى تدفق، التدفق المتوسط، أدنى تدفق أكثر مما كان موجوداً في الفرعات الجانبية.

من المهم عمل التقدير الجيد لمعدلات التدفق قبل تصميم شبكة الصرف. في حالة قلة التقدير لكمية الصرف الصحي، فإن قطر الماسورة سوف يكون صغيراً وكذلك الميل بالنسبة لحمل أقصى معدلات للتدفق. وهذا يسمى دون التصميم (Under Design)، ويمكن أن ينتج عنه التحميل الزائد لجزء من شبكة الصرف.

يحدث التحميل الزائد لشبكة الصرف عند ارتداد مياه الصرف من المطبق وخط الانحدار الهيدروليكي يكون فوق السطح العلوي للماسورة. وهذا موضح في الشكل (٥/٩). في الحالات الحادة للتحميل الزائد فإنه قد يحدث طفح لمياه الصرف من غرفة التفريش ثم إلى الشارع، كما يمكن أن يرتد إلى الأجزاء السفلى من المنازل المرتبطة بالخط. يحدث التحميل الزائد في شبكة الصرف بسبب التصميم الضعيف أو بسبب التدفقات الزائدة جداً.

التصميم الضعيف والتحميل الزائد من المشاكل المتعلقة بعدم التقدير الدقيق لتدفق مياه الصرف. مشكلة أخرى تحدث في حالة التقدير الزائد لمياه الصرف بما ينتج عنه تصميم زائد في النظام، ليس بسبب زيادة تكاليف الإنشاء فقط ولكن استغلال أكبر من مساحات الأرض.

معدلات تدفق مياه الصرف تعتمد على عدة عوامل، منها الكثافة السكانية، معدل استهلاك الفرد للماء، الأنشطة التجارية والصناعية. كمية المياه الأرضية التي تتسرب إلى خط المواسير يجب كذلك أن تؤخذ في الاعتبار.

الكثافة السكانية يعبر عنها بعدد السكان في الهكتار أو الفدان أو الكيلو متر المربع. خطوط مواسير الصرف تصمم عموماً لحمل أقصى تدفقات من أقصى كثافة سكانية للمنطقة المحلية المخدومة. تقدير التعداد السكاني يكون عادة متاح.

تقريباً حوالي ٧٥% من استخدامات الفرد للمياه تصبح مياه صرف، ذلك لفقد بعضاً من المياه لدى الحدايق وغسيل العربات والاستخدامات الأخرى التي تحد من وصوله إلى شبكة الصرف، في بعض الحالات تكون كمية التسرب في شبكة الصرف أكثر من التعويض عن هذا الفقد. للأغراض العملية، عندئذ، يفترض أن متوسط صرف مياه الصرف الصحي هو نفس المستوى لمتوسط استخدام المياه في المجتمع.

على المستوى العام المعدل المتوسط لصرف مياه الصرف هو حوالي ٢٠٠ إلى ٤٠٠ لتر في اليوم. طبعاً في حالة توفر بيانات أكثر دقة مثل تلك البيانات من دراسات تدفق مياه الصرف لشبكة مجاورة مشابهة في المساحة، وهذه تستخدم لتقدير كميات التدفق.

على الخرائط التي توضح أوضاع شبكة الصرف، فإن المساحة الكلية التي تحتوى قطاعات الصرف يتم تحديدها بواسطة المصمم. القطاع لأغراض التصميم هو عبارة عن طول خط المواسير بين مطبقين، والذي يسمى وصلة مواسير الصرف (Sewer

(Reach). الوصلة لخط المواسير تكون ذات قطر ثابت وميل ثابت. حدود المنطقة التابعة تشابه تقريباً لخط تقسيم الصرف، ولكنها لا تتبع نفس القواعد المتعلقة بخطوط الكنتور واتجاه التدفق. ذلك لأن التدفق يكون محتجزاً ويجب أن يتبع اتجاه وصلات الخدمة وخط الصرف نفسه.

بعد رسم الحدود التابعة لكل وصلة مواسير بين مطبقين، فإنه يمكن تعيين المساحة. بالنسبة للأشكال المربعة أو المستطيلة يمكن بسهولة حساب المساحات باستخدام الأبعاد من الخريطة ذات المقياس. بالنسبة للمساحات ذات الشكل الغير منتظم، يمكن استخدام جهاز (Planimeter) لتتبع الحدود وتعيين المساحة المحصورة. درجة الدقة العالية في تعريف الحدود عادة ليس مطلوباً ذلك لعدم تأكيد الكثافة السكانية ومعدلات التدفق للفرد.

بالنسبة لوصلة مواسير الصرف بين مطبقين، فإن تصميم التدفق يؤخذ كمحصلة لثلاثة عوامل، المساحة التي سيتم خدمتها، الكثافة السكانية لهذه المساحة، وتقدير معدلات الصرف القصوى للفرد.

مثال :

وصلة مواسير صرف بين مطبقين مطلوب تصميمها لاستقبال تدفق من مجتمع مساحته ١٠٠ هكتار حيث الكثافة السكانية تقدر بمتوسط ٢٥ فرد في الهكتار. متوسط تدفقات الصرف للفرد تقدر بحوالي ٤٠٠ لتر في اليوم. احسب تصميم التدفق لهذه الوصلة باللتر في الثانية.

الحل :

أولاً، يتم تعيين أقصى معدل تدفق للفرد. بفرض أن الفرعات المستخدمة يجب أن تصمم لتحمل معدل تدفق أربعة أضعاف المتوسط.

$$\text{أقصى تدفق} = 4 \times 400 \text{ لتر/اليوم/الفرد.}$$

$$= 1600 \text{ لتر/اليوم/الفرد.}$$

تصميم معدل التدفق للوصلة بين مطبقين يتم عندئذ حسابها كالاتي :

$$100 \text{ هكتار} \times 25 \text{ فرد في الهكتار} \times 1600 \text{ لتر/اليوم/الفرد}$$

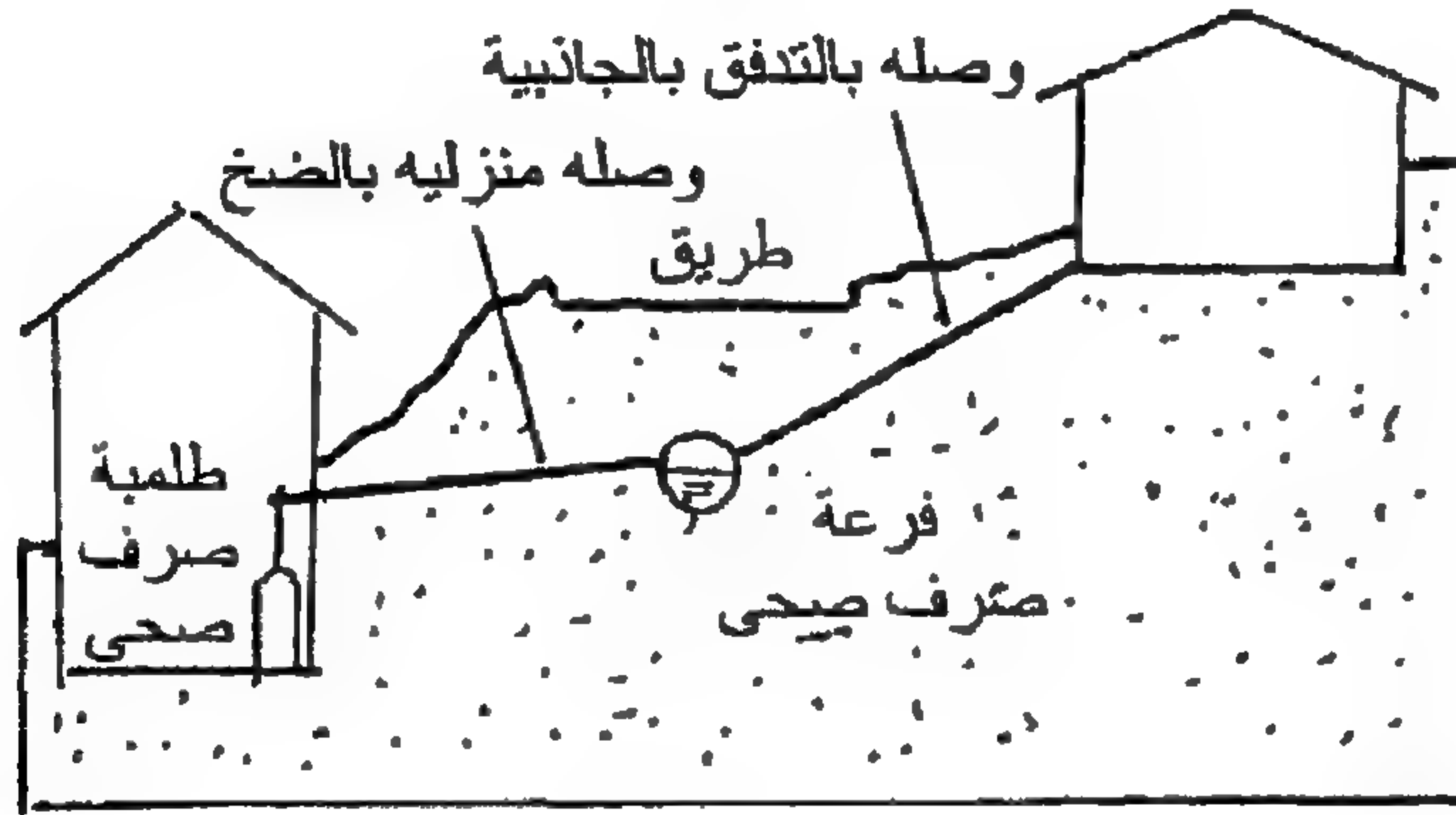
$$= 4,000,000 \text{ لتر/اليوم أو } 4 \text{ مليون لتر/اليوم}$$

$$\text{و } 4 \times 10^6 \text{ لتر/اليوم} \times 1 \text{ يوم} \div 24 \text{ ساعة} \times 1 \text{ ساعة} \div 3600 \text{ ثانية}$$

عادة يبدأ التصميم عند الوصلة العليا للشبكة ثم يتقدم تحت التيار، حيث تتجمع المساحات الفرعية والسكان على طول المسار. يستمر ذلك حتى حدوث الاتصال مع وصلة صرف قادمة، عند هذه النقطة فإن الوصلة العليا ثم باقى الفرعة يستم تصميمها. وصلة المواسير تحت التيار مباشرة للاتصال يجب تصميمها لاحتواء إجمالى السكان وتدفقات الصرف من الفرعات قبلها.

حدود العمق والسرعة :

من الناحية العملية يتم وضع خطوط مواسير الصرف الصحى بالعمق الكافى فى التربة لإمكان استقبال تدفقات مياه الصرف بالجاذبية من المنشآت والمنازل. ولكن المباني والأدوار السفلى العميقة تحت منسوب الشارع نظراً لهذا العمق فإنها تتطلب وحدات ضخ مستقلة لرفع مياه الصرف إلى مواسير الصرف العامة. هذه الحالة موضحة فى الشكل (٥/٩).



شكل (٥/٩) مواسير الصرف لا يمكن دائماً وضعها عميقة فى الأرض لإمكان التدفق بالجاذبية من كل الوصلات الخدمة. يمكن استخدام طلمبات رفع للصرف منفردة بواسطة بعض أصحاب العقارات.

عموماً يتم المحافظة على غطاء بسمك ٢ متر فوق السطح العلوى للماسورة ولكن عملية التصميم قد تختلف فى هذا الأمر. زيادة الأعماق تحتاج إلى حفر أكثر وتزيد من تكاليف الإنشاء. عموماً أعماق خطوط مواسير الصرف لا تزيد عن ٦ متر.

من الناحية العملية يتم اختيار قطر وشكل مواسير الصرف بحيث أن سرعة التدفق الممتلئ لا تزيد عن ٠,٦ متر فى الثانية. وهذا يسمى أدنى سرعة تنظيف ذاتى ذلك لأنها السرعة التى تحافظ على أن تكون المواد الصلبة فى الصرف تظل عالقة فى التدفق.

السرعات المنخفضة تعمل على ترسيب المواد الصلبة في الماسورة، وبذلك تحدث انسدادات وإعاقة للتدفق تقلل من طاقة خط الصرف.

الحد العلوي لسرعة التدفق هي ٣ متر في الثانية لمنع زيادة الاحتكاك والبلى لجدار الماسورة بفعل الرمال التي تحملها مياه الصرف. بالنسبة لقطر معين أو ميل لخط المواسير، يمكن استخدام معادلة أو مخطط مانتج لمراجعة أن سرعة التدفق الممتلئ تكون خلال المجال المسموح به. فمثلاً، أدنى ميل لماسورة ٣٠٠ ملمتر (١٢ بوصة) بالتدفق الممتلئ هو ٠,٢ % (٠,٠٠٢) ذلك لاستمرار سرعة التنظيف الذاتي.

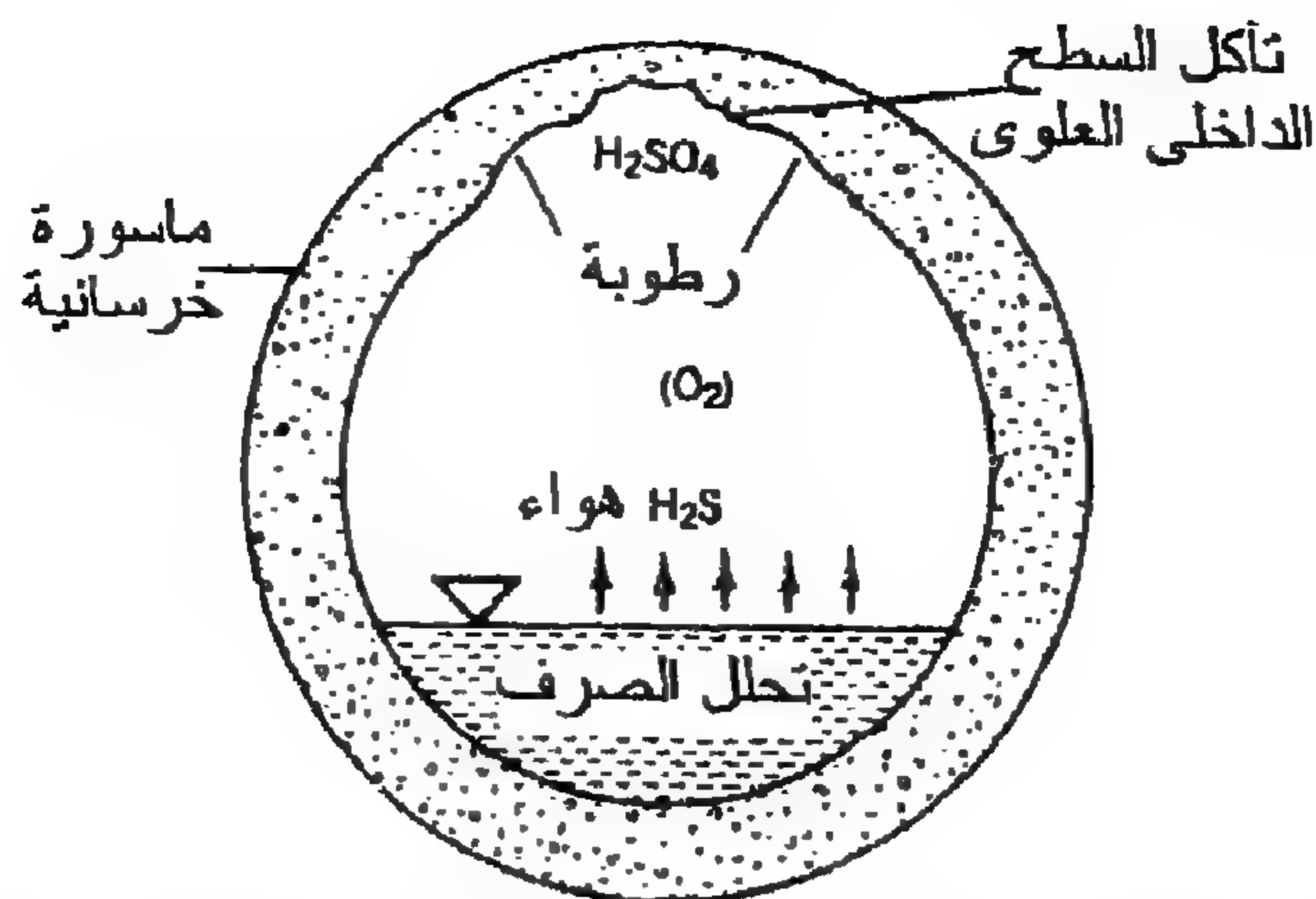
تآكل السقف العلوي الداخلي للماسورة : (Crown Corrosion)

عند انخفاض سرعة التدفق في خط مواسير الصرف إلى أقل من سرعة التنظيف الذاتي، فإنه تتكون ترسيبات حماة في خط المواسير. مع تحلل الحمأة فإن الأكسجين المذاب في مياه الصرف يقل، بما ينتج عنه حالة تحلل لا هوائية. حتى أن المواد الصلبة المتبقية يكون لها الوقت الكافي للتحلل في خط المواسير ذلك لطول زمن الرحلة قبل الوصول إلى محطة المعالجة.

مياه الصرف الصحي تحتوي على مركبات الكبريتات (SO_4^{2-})، والتي تتحول إلى كبريتيد الهيدروجين الغاز (H_2S) بواسطة البكتريا اللاهوائية.

هذا ينتج عنه رائحة البيض الفاسد لسائل الصرف. ولكن يمكن أن تحدث مشكلة إنشائية حادة في خطوط المواسير الخرسانية. في خطوط المواسير بالجاذبية، والتي بها هواء ورطوبة في الماسورة فوق تدفقات مياه الصرف، فإن البكتريا الهوائية المتصقة بالسقف العلوي الداخلي للماسورة (Crown) تؤكسد H_2S وتحوله إلى حامض كبريتيك (H_2SO_4). وهذا موضح في الشكل (٥/١٠). حامض الكبريتيك يتفاعل مع الخرسانة ويضعفها مسبباً مشكلة التآكل للسقف العلوي الداخلي للماسورة. في الحالات الحادة يحدث انهياراً لخطوط مواسير الصرف الخرسانية بفعل التآكل، بما يتطلب الإصلاح العاجل والمكلف.

التصميم الهيدروليكي المناسب لنظم الصرف الذي يحقق المحافظة على سرعة التدفق للتنظيف الذاتي يمكن أن يساعد في تجنب هذه المشكلة.



شكل (٥/١٠) تآكل السطح الداخلي العلوي للماسورة الخرسانية الغير مبطنة يمكن أن يؤدي إلى تدمير خط المواسير.

القطر، الميل، وارتفاعات السطح الداخلي السفلي للماسورة :

Size, Slope, and Invert Elevations

لتقليل كمية الحفر فإن ميل المواسير يجب أن يتبع ميل الأرض ما أمكن ذلك. طريقة التصميم التقليدية تبدأ باختبار الشكل الجانبي للشارع لتعيين متوسط ميل الأرض للوصلة من المواسير بين مطبقين (غرفتين تفتيش). يستخدم مخطط ماننج لتعيين أصغر قطر قياسي للماسورة الذي سوف يحمل التدفق التصميمي لهذه الوصلة عند نفس الميل مثل مسطح الأرض. لهذا القطر والميل يتم عندئذ مراجعة السرعة لتأكيد أنها خلال الحدود المقبولة.

يتم عندئذ عمل الضبط المناسب إما لميل الماسورة أو للقطر طبقاً للمطلوب. فمثلاً، إذا كانت السرعة منخفضة جداً أو إذا كان المطلوب ماسورة ذات قطر كبير جداً، فإن المصمم يمكن أن يزيد من ميل الماسورة. زيادة الميل يزيد من سرعة التدفق ويقلل من القطر المطلوب للماسورة. ولكن المصمم يجب أن يراعى أن الميول الحادة تجعل من الضروري وضع خط المواسير على عمق أكبر في الأرض، بما يزيد من تكاليف الحفر.

فرعات مواسير الصرف الصحي تكون عموماً ذات قطر لا يقل عن ٨ بوصات، مهما كان التدفق التصميمي صغيراً، هذا القطر الأصغر يقلل من حدوث الانسداد للماسورة ويسهل من عمليات الصيانة. ولكن المعدلات المنخفضة للتدفقات عند الوصلات العليا بين المطابق للنظام تؤدي إلى انخفاض سرعات التدفق في هذه الوصلات ذات

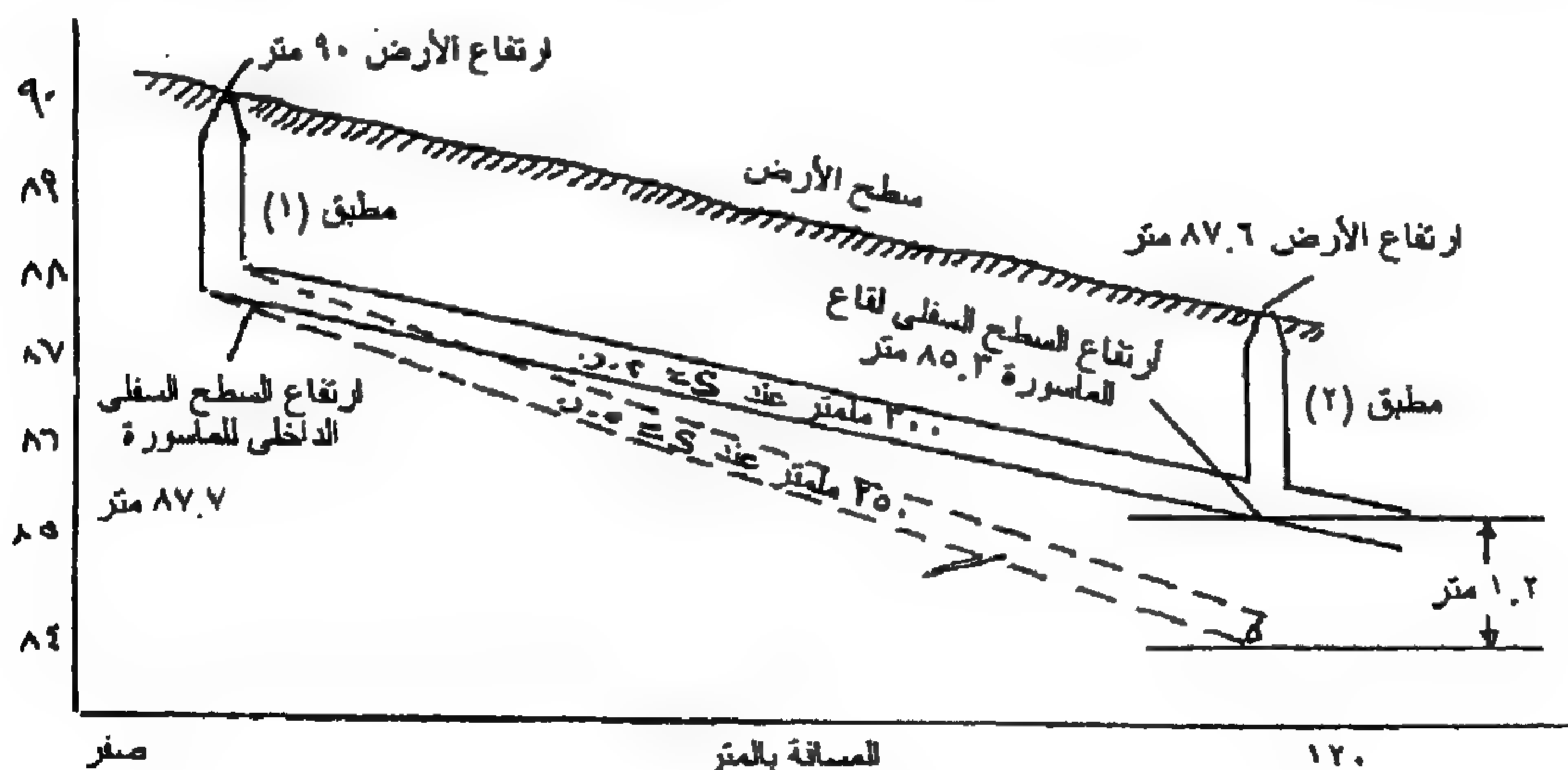
القطر الزائد، وهذه تحتاج إلى الدفع الروتيني والنظافة لإخلائها من رواسب الحمأة والإنسدادات.

عند تعيين قطر الماسورة والميل، فإنه يمكن تعيين ارتفاع السطح الداخلي السفلي للماسورة ويمكن رسم الشكل الجانبي لخط المواسير (The Invert Elevation). عادة أدنى عمق لغطاء التربة فوق السطح العلوي للماسورة يتم توصيفه. يتم حساب ارتفاع السطح الداخلي السفلي للماسورة وذلك بطرح طبقة التغطية من التربة وقطر الماسورة في ارتفاع الأرض عند غرفة التفريش أو بمطابقة ارتفاع السطح العلوي للماسورة شكل (٥/١١).

طريقة التصميم لمواسير الصرف موضحة في المثال التالي :

مثال :

قطاع مواسير بطول ١٢٠ متر بين مطبقين مطلوب تصميمه بطاقة تدفق ١٠٠ لتر في الثانية. ارتفاع الشارع عند أعلى مطبق (غرفة تفريش) هو ٩٠ متراً وعند أوطى مطبق هو ٨٧,٦ متراً كما هو موضح في الشكل (٥/١١). عين القطر المناسب للماسورة والميل لهذا القطاع من المواسير، وعين ارتفاع السطح الداخلي السفلي للماسورة عند أعلى وأوطى مطبق. افترض أدنى غطاء من التربة ٢ متراً فوق السطح العلوي للماسورة.



شكل (٥/١١) توضيح للمثال

الحل :

ارتفاع الأرض ينقص $90 - 87,6 = 2,4$ متر.

ميل الأرض عند هذا التغير في الارتفاع مقسوماً على المسافة الأفقية أو الميل $= 2,4 \div 120 = 0,02$ والآن استخدم مخطط ما نتج شكل (٢/٢١). عند الميل $= 0,02$ ، التصرف $= 100$ لتر/الثانية أو $0,1$ متر مكعب/الثانية. الخط المستقيم الموصل الميل (S) مع التصرف (Q) يقطع محور القطر عن ٢٦ سم أو ٢٦٠ ملليمتر.

من الضروري اختيار قطر ماسورة قياسى ذلك المتاح إنتاجه طبقاً للمواصفات. يتم اختيار القطر ٢٥٠ ملليمتر ولكن الميل بالنسبة لهذه الماسورة سيكون أكثر حدة حوالى $0,03$ ليكون لها طاقة 100 لتر/الثانية طبقاً لمخطط ماننج. مع الميل $0,03$ فإن طول المواسير بين مطبقين سوف يقل بحوالى $0,03 \times 120 = 3,6$ متر فى الارتفاع.

لنبدأ بالغطاء ٢ متراً عند النهاية العليا، فهى سوف تكون عندئذ $3,2$ متراً من الغطاء عند النهاية السفلى. بمعنى آخر الغطاء الزائد سيكون $3,2 - 2 = 1,2$ متراً.

يمكن أن يكون من المفضل اختيار ماسورة ذات قطر أكبر 300 ملليمتر وإقامتها عند ميل $0,02$ موازياً لسطح الأرض. هذا سوف يحافظ على ثبات عمق الغطاء عند 2 متر وكذلك يتطلب حفر أقل مما تحتاجه الماسورة 250 ملليمتر. من المهم ملاحظة أن الوفر فى الحفر سيكون أكثر من ذلك لقطاع المواسير الواحد فى حالة استخدام ماسورة 250 ملليمتر فإن العمق الزائد $1,2$ متراً سوف يتم حمله خلال باقى خط الصرف تحت التيار لهذا القطاع.

لاحظ أن طاقة التدفق الممتلئ للماسورة 300 ملليمتر الموضوعة على ميل $0,02$ تكون أكثر من المطلوب 100 لتر/الثانية من مخطط ماننج. يلاحظ أن الطاقة الحقيقية للتدفق الممتلئ هى 135 لتر/الثانية ($0,135$ متر مكعب/الثانية). حالات التدفق الجزئى يمكن تقديرها باستخدام الشكل (٢/٢٢). إذا كانت $q = 100$ لتر/الثانية عندئذ النسبة

$$\frac{q}{Q} = 100 \div 135 = 0,74 ، Q:d = 0,63 ، \text{تقرأ من مخطط التدفق الجزئى.}$$

$$\text{من هذا } d = 0,63 \times D = 0,63 \times 300 = 190 \text{ ملليمتر.}$$

$$\text{سرعة التدفق الممتلئ } V = 1,95 \text{ م/ث من المخطط}$$

$$\text{بالنسبة لـ } D:d = 0,63 ، \text{اقرأ } V \div v = 1,08 \text{ من مخطط التدفق الجزئى. من هذا}$$

$$v = 1,08 \times V = 1,08 \times 1,95 = 2,1 \text{ متر/الثانية.}$$

لنختار قطر الماسورة 300 ملليمتر والميل $0,02$ لهذا القطاع واحسب ارتفاع السطح الكلى الداخلى للماسورة.

يتم حساب الارتفاع العلوي للسطح الداخلي السفلي للماسورة كالتالي :

$$= \text{ارتفاع سطح الأرض} - \text{الغطاء} - \text{قطر الماسورة.}$$

$$= 90 \text{ متر} - 2 \text{ متر} - 0,3 \text{ متر} = 87,7 \text{ متر}$$

السقوط في الارتفاع لمقطع المواسير خلال طول المقطع بين المطبقتين هو ناتج الميل والمسافة كالتالي :

$$\text{سقوط المواسير} = 0,02 \times 120 \text{ متر} = 2,4 \text{ متر}$$

ولذلك الارتفاع السفلي للسطح الداخلي السفلي للماسورة كالتالي:

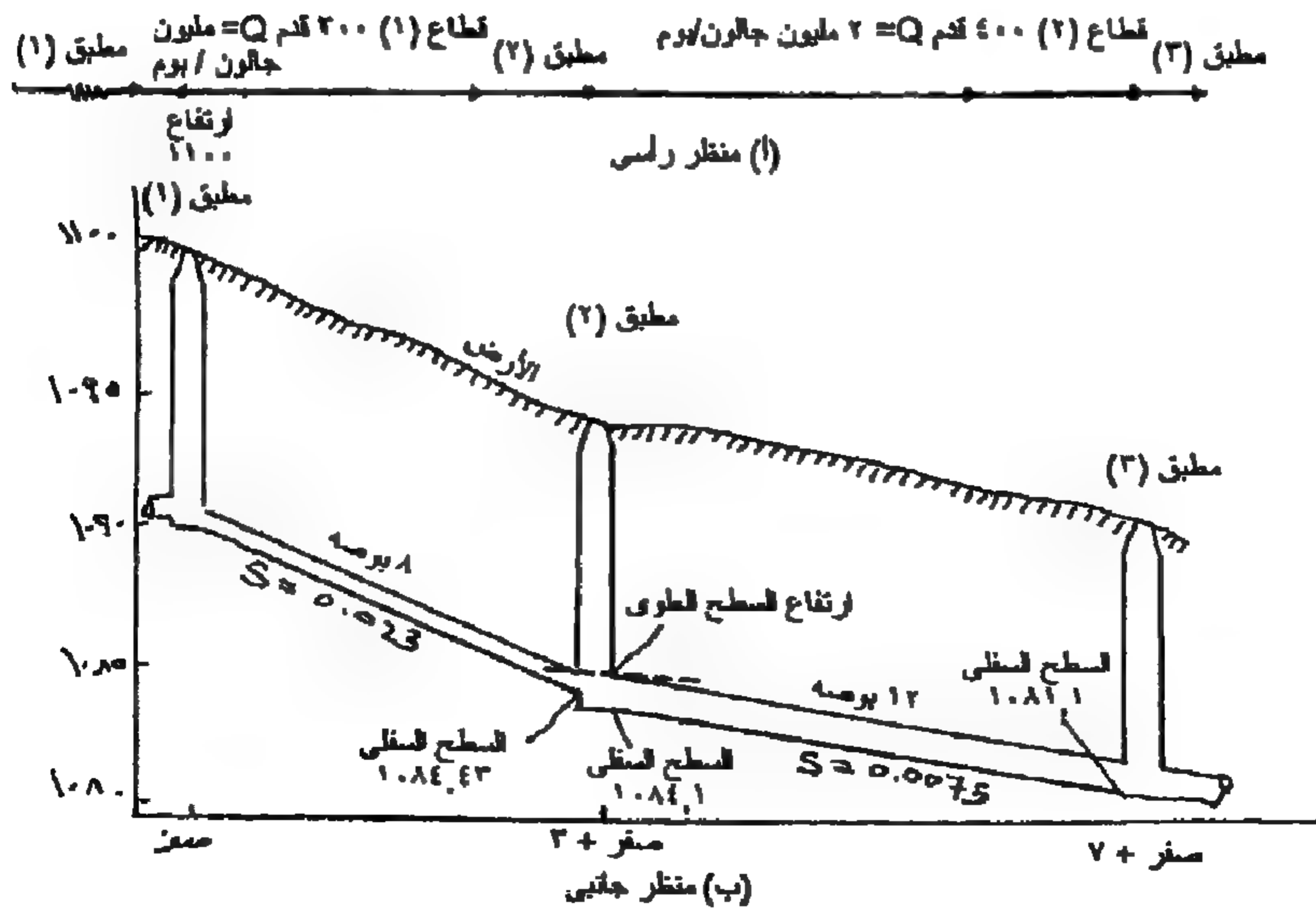
$$= \text{الارتفاع العلوي للسطح الداخلي السفلي للماسورة} - \text{السقوط في المواسير}$$

$$= 87,7 - 2,4 = 85,3$$

وهذا موضح في الشكل (٥/١١).

مثال :

المطلوب تصميم قطاعين للمواسير بين المطابق في الشكل (٥/١٢) تصميم التدفق للقطاع (١) هو مليون جالون في اليوم، للقطاع (٢) هو ٢ مليون جالون في اليوم. ارتفاع سطح الأرض عند المطبق الأول هو ١١٠٠ قدم وعند رقم ٢ هو ١٠٩٣ قدم، وعند رقم ٣ هو ١٠٩٠ قدم. استخدم أدنى غطاء ٨ قدم.



شكل (٥/١٢) توضيح للمثال

الحل :

بالنسبة للقطاع (١) يتم حساب ميل الأرض كالاتى :

$$S = 1100 - 1093 = 300 \div 7 = 300 \div 7 = 0.023$$

باستخدام مخطط ماننج فى الشكل (٢/٢١)، أولا يتم تحويل معدل التدفق من وحدات

مليون جالون فى اليوم إلى جالون فى الدقيقة كالاتى :

$$Q = 1,000,000 \times \frac{\text{جالون}}{\text{يوم}} \times \frac{1 \text{ يوم}}{24 \text{ ساعة}} \times \frac{1 \text{ ساعة}}{60 \text{ دقيقة}}$$

$$= 690 \text{ جالون فى الدقيقة}$$

الآن يتم الدخول على المخطط حيث $Q = 690$ جالون فى الدقيقة،

$S = 0.023$ يتم اختيار قطر الماسورة ٨ بوصات. طاقة التدفق الممتلئ الحقيقية

لماسورة قطر ٨ بوصات عند هذا الميل هى حوالى ٨٤٠ جالون فى الدقيقة، والسرعة حوالى ٥,٣ قدم/الثانية.

ارتفاع القاع السفلى للماسورة (Invert Elevation) يتم حسابه كالاتى :

$$\text{الارتفاع العلوى للسطح السفلى للماسورة} = 1100 \text{ قدم} - 8 \text{ قدم} - 12 \div 8 = 1091.33 \text{ قدم}$$

$$\text{سقوط قطاع المواسير} = 0.023 \times 300 \text{ قدم} = 6.9 \text{ قدم}$$

$$\text{الارتفاع السفلى للسطح السفلى للماسورة} = 1091.33 - 6.9 = 1084.43$$

بالنسبة للقطاع رقم (٢) بين المطبق (٢) والمطبق (٣).

يتم حساب ميل الأرض كالاتى :

$$S = 1093 - 1090 = 400 \div 3 = 400 \div 3 = 0.0075$$

من مخطط ماننج حيث الميل (S) = 0.0075، والتصرف Q

$$= 1380 \text{ جالون فى الدقيقة، اختر ماسورة بقطر ١٢ بوصة.}$$

السرعة هى ٣,٩ قدم/ الثانية. لتعيين الارتفاع العلوى للسطح السفلى للماسورة

(Upper Invert Elevation) ١٢ بوصة، يتم مطابقة ارتفاع سطحها العلوى مع ذلك

للماسورة ٨ بوصة فى المقطع رقم (١)، كالاتى :

ارتفاع السطح العلوى للماسورة ٨ بوصات هو ببساطة مجموع الارتفاع للسطح السفلى للماسورة وقطر الماسورة أو

$$١٠٨٤,٤٣ \text{ قدم} + ٨ \div ١٢ \text{ قدم} = ١٠٨٥,١ \text{ قدم}$$

سقوط قطاع المواسير هو $٠,٠٠٧٥ \times ٤٠٠ \text{ قدم} = ٣ \text{ قدم}$

و أوى ارتفاع للسطح العلوى للماسورة $١٠٨٤,١ - ٣ = ١٠٨١,١$
وهذا موضح فى الشكل (٥/١٢).

الطفح فى شبكة الصرف الصحى : (Sanitary Sewer Over Flow)

الطفح فى شبكة الصرف الصحى هو عبارة عن طفح لمياه الصرف الصحى الخام فى الأدوار تحت الأرض (البدرومات) أو خارج غرف التفتيش (المطابق) إلى الشوارع العامة، والمساحات الفضاء، وذلك قبل وصول التدفقات إلى وحدة المعالجة وهذا له تأثير سلبى على الصحة العامة وعلى البيئة.

يحدث الطفح فى معظم شبكات الصرف، حتى فى حالة تصميم الشبكة لحمل أقصى التدفقات للذروة. عند حدوث الطفح فإن السبب عادة يكون ضعف الصيانة والإدارة لنظام جمع مياه الصرف. من بين الأسباب المسببة للطفح هو التسرب للمياه الأرضية فى شبكة الصرف، كذلك تسرب مياه الأمطار والسيول خلال وصلات المواسير أو المواسير التالفة، أو لضعف الإنشاء للوصلات المنزلية التى تصل المنازل إلى المواسير فى الشارع. يمكن خفض هذا التسرب بمراعاة الإنشاء الجيد ومنع التوصيل لمياه الأمطار والسيول وأسباب أخرى تشمل صغر قطر المواسير أو هبوط المواسير أو انسدادها بواسطة جذور النباتات أو الترسيبات.

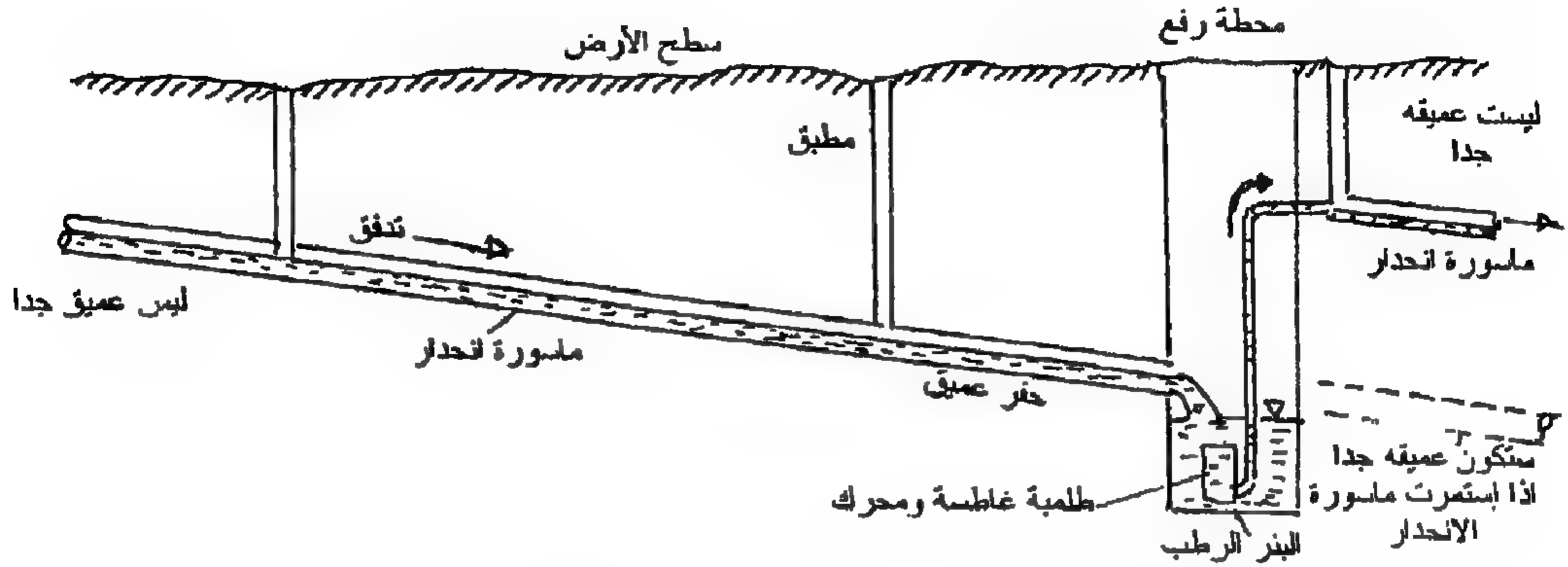
٢- محطات الرفع لمياه الصرف الصحى : (Sewage Lifting Stations)

عادة يتم إنشاء خطوط مواسير الصرف الصحى حسب الميل الطبيعى للأرض بما يمكن مياه الصرف من التدفق بالجاذبية. فى بعض الحالات، يكون من الضرورى ضخ مياه الصرف من نقطة منخفضة إلى ارتفاع أعلى، أما للوصول إلى محطة المعالجة أو إلى خط مواسير آخر يتدفق بالجاذبية.

يستخدم عادة لضخ مياه الصرف طلمبات الطرد المركزى الغير قابلة للانسداد. تصمم الدوايق والغطاء لهذه الطلمبات بما يسمح بمرور المواد الصلبة فى مياه الصرف بما فيها

الأثلام البالية وما شابه ذلك بدون حدوث أى تلف أو انسداد. المنشأ الذى تعمل فيه هذه الطلمبات يسمى محطات الرفع (Lift stations).

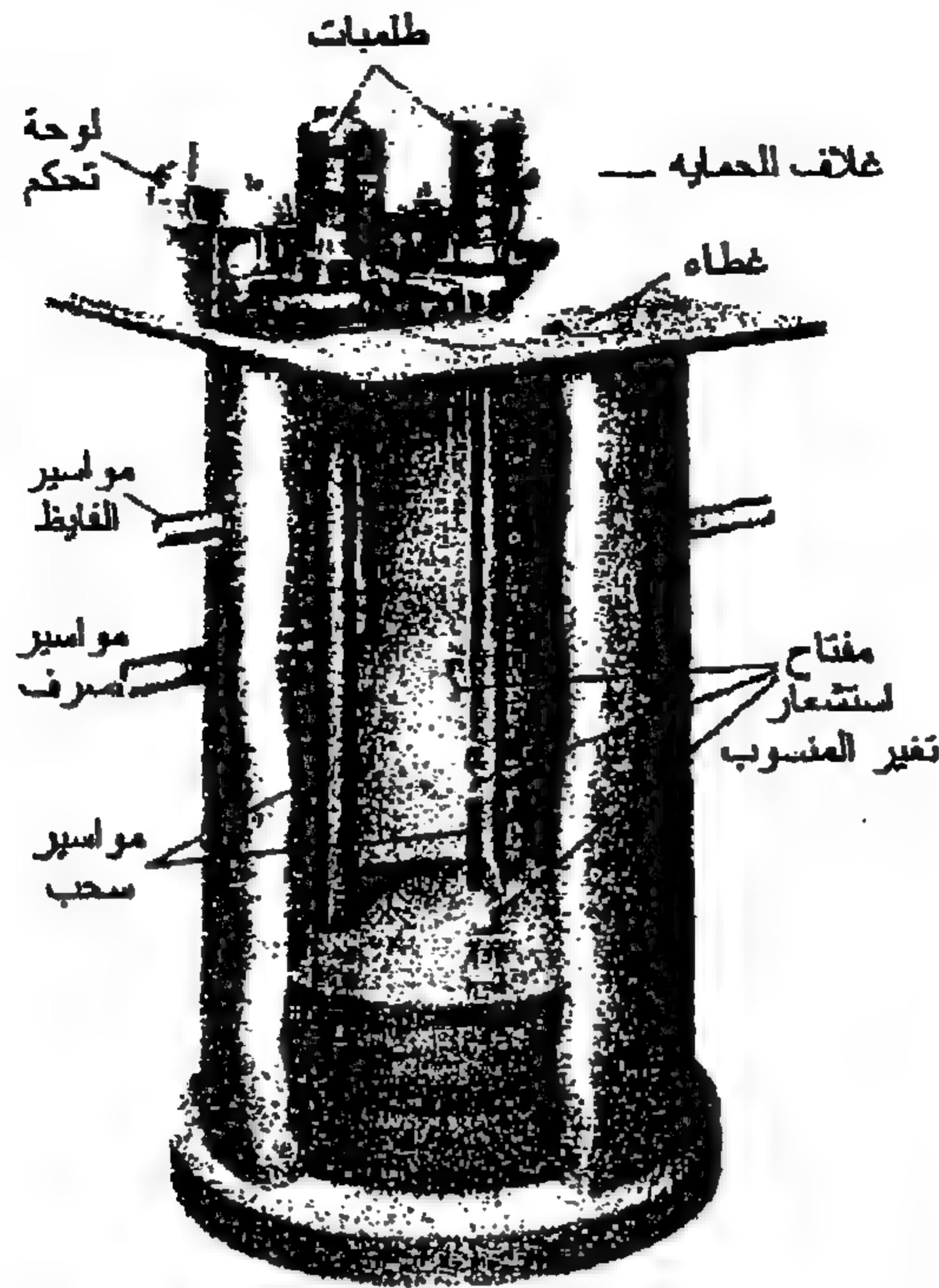
يمكن استخدام محطة الرفع فى المنطقة فبسبب الطبوغرافية المستوية فإن خطوط مواسير الصرف سوف تكون شديدة العمق حتى عند أدنى ميل مطلوب لتحقيق سرعة التنظيف الذاتى. وهذا موضح فى الشكل (٥/١٣).



شكل (٥/١٣) تستخدم محطات الرفع لرفع خط الميل الهيدروليكي فى شبكة الصرف

تزداد تكاليف إنشاء خطوط المواسير مع زيادة عمق الحفر للخندق. عندما يكون ميل خط المواسير شديد الانحدار، فإنه يفضل من الناحية الاقتصادية إقامة وتشغيل محطة رفع وذلك لرفع خط الانحدار الهيدروليكي. حالة أخرى حيث يكون من الضروري استخدام محطة الرفع عند بناء منطقة صناعية أو سكنية جديدة فى مساحة من الأرض منخفضة وقريباً من نظام شبكة الصرف الصحى. عندئذ يلزم محطة رفع لضخ مياه الصرف من التجمع الجديد إلى الخط الرئيسى.

بالنسبة للنوعين الأساسيين لمحطات الرفع فهما: منشآت البئر الجاف ومنشآت البئر الرطب. إنشاء البئر الرطب له غرفة واحدة فقط لاستقبال وحجز مياه الصرف حتى يتم ضخها. أحد هذا النظام يشمل استخدام طلمبات غاطسة ذات تصميم خاص ومحركات كما فى الشكل (٥/١٣)، حيث الطاقة تنقل بواسطة عمود إدارة رأسى متصل بمحرك مثبت فوق البئر الرطب. فى كلا الحالتين، يلزم رفع الطلمبات إلى خارج البئر الرطب للصيانة. فى نظام آخر، يتم وضع كلا من المحرك والطلمبة فوق البئر الرطب فى غلاف محكم، ولكن عند الرفع بالامتصاص (Suction Lift) يكون من الضرورى تحضير الطلمبة. نموذج لمحطة رفع سابقة التجهيز من هذا النوع موضح فى الشكل (٥/١٤). مفاتيح التشغيل تعمل آلياً وذلك بإيقاف وتشغيل الطلمبة طبقاً لمنسوب المياه فى البئر الرطب.



شكل (٥/١٤) محطة ضخ البئر الرطب سابقة التجهيز

منشآت البئر الجاف تتكون من غرفتين منفصلتين أحدهما لاستقبال مياه الصرف والأخرى للطللمبة ونظام التحكم. الغرفة الجافة التي تتوفر لها الحماية تسمح بسهولة الاقتراب من الطلمبات للتفتيش والتحكم والصيانة.

مميزات البئر الجاف هي أن الطلمبات يمكن أن توضع أسفل منسوب الصرف الصحي. هذا يوفر ضغط سحب بدلاً من ضغط الرفع، وبما لا تتطلب الحاجة لتحضير الطلمبات. منشآت البئر الجاف موضحة في الشكل (٥/١٥). الضغط المرتد (Back Pressure) الذي يتم استشعاره بواسطة أنبوبة فقاعات الهواء يعمل على بيان منسوب سائل الصرف وتشغيل أو إيقاف الطلمبات آلياً.

التغير في معدلات تدفق سائل الصرف من ساعة لأخرى يجب معرفته أو تقديره وذلك لتصميم محطة الرفع أو لاختيار وتوصيف وحدة مناسبة سابقة التصنيع. حتى أن أصغر محطة رفع يجب أن تتوفر لها طلمبتين على الأقل أحدهما في التشغيل والأخرى احتياط للصيانة أو الإصلاح. استخدام الطلمبتين يمكن تغييره آلياً بحيث أحدهما لا تظل خارج الخدمة لفترة زمنية طويلة.

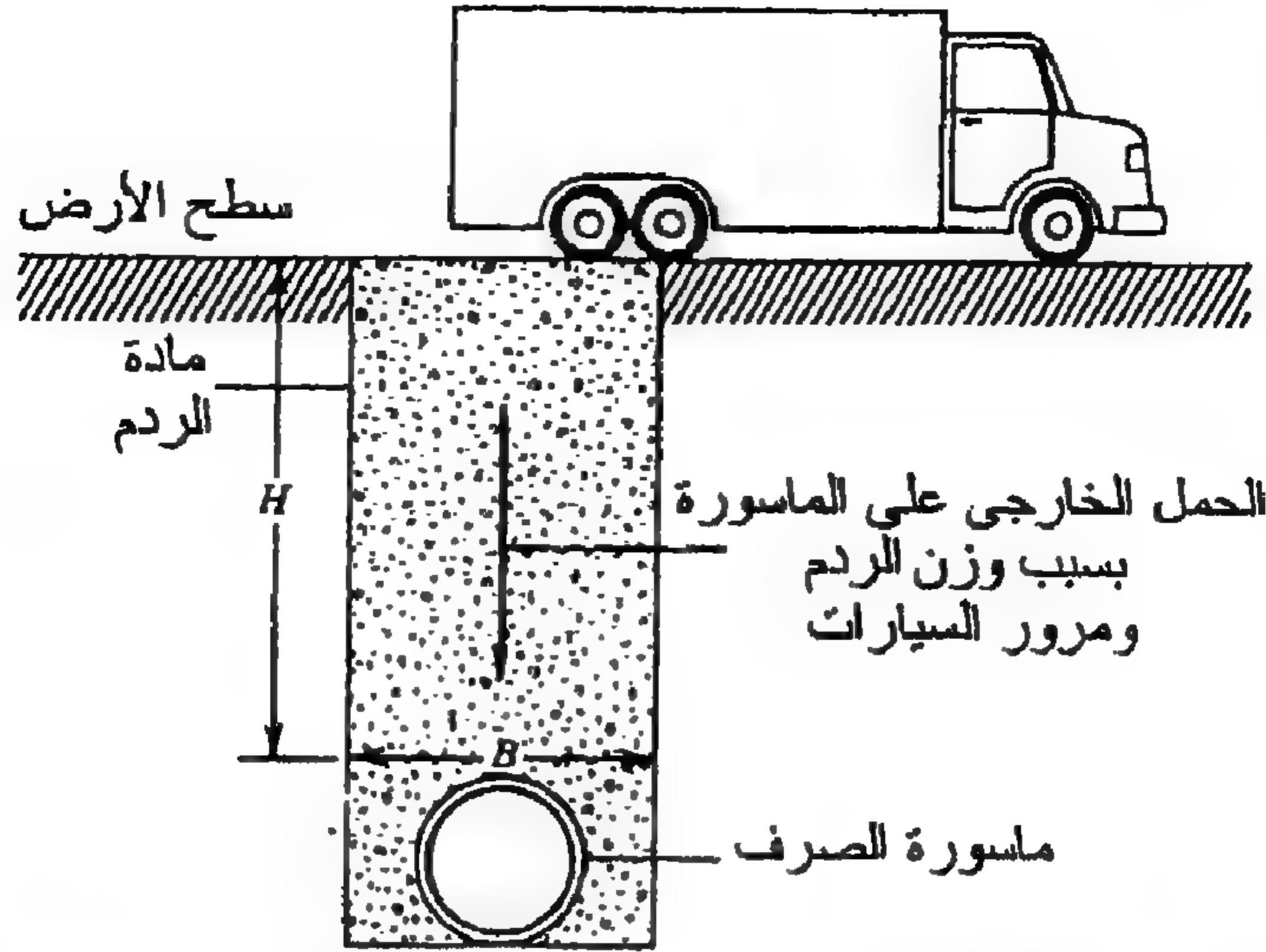
حجم البئر الرطب يجب أن يكون كبيراً بحيث أن تعمل الطلمبات بدون دورات تشغيل وإيقاف زمنية قصيرة جداً، وفي نفس الوقت يجب أن يكون صغيراً بما لا يسمح بمكوث الصرف الأسن لفترة طويلة. إذا كان البئر الرطب صغيراً جداً، فإن الطلمبات سوف تعمل باستمرار أو دورة التشغيل والإيقاف ستكون قصيرة جداً بما قد يحدث بها تلف. إذا كان البئر الرطب كبيراً جداً، فإن طول زمن المكث لمياه الصرف قبل بدء الضخ سيؤدي إلى تحلل لا هوائى وحالات تعفن فى محطة الرفع. المصمم يجب أن يكون لديه بيانات معدل تدفق جيدة لتعيين الحجم المناسب للبئر الرطب.

شبكة الصرف هي لتأكيد تطابق خطة المشروع طبقاً للمواصفات. بعض المهام المعينة لعنصر التفقيش تشمل الآتى :

- ١- التأكيد أن كل ماسورة ليس بها شروخ وثابتة تماماً.
- ٢- مراجعة الوضع والتأسيس للماسورة فى الخندق المفتوح.
- ٣- مراجعة التوصيل الجيد للمواسير.
- ٤- مراجعة الاستقامة (اتجاه الميل) لخط المواسير.
- ٥- التأكيد على تغطية الماسورة (الردم) بمادة تربة نظيفة.
- ٦- تعيين الحاجة إلى سحب المياه من الخندق.

متطلبات الإنشاء :

خطوط المواسير يجب أن تكون قادرة على تحمل الحمل الناتج عن ردم التربة فوقها، وهذا ما يسمى بالحمل الميت (Dead Load)، وكذلك القوة الناتجة عن الحركة المرورية والتي تسمى الحمل الحى (Live Load). وهذا موضح فى الشكل (٥/١٦). عمق الردم، عرض الخندق ونوع مادة الردم هى العوامل الهامة ذات التأثير على الحمل الميت. أما العوامل ذات التأثير على قدرة التحميل للماسورة هى إجهاد الكسر للماسورة (Crushing Strength) ونوع أو درجة التأسيس للماسورة. إجهاد الكسر للماسورة يتم تعيينه طبقاً للمواصفات، ويتم تقديره بالحمل أو القوة على وحدة الطول. طريقة تعيين إجهاد الكسر تسمى اختبار التحميل بالثلاثة بروز (Three Edge Bearing Test) لأن التحميل يكون على مقطع الاختبار على طول الثلاثة بروز فقط لاستدارة الماسورة، أحدهم على السطح العلوى والاثنين على القاع. أدنى إجهاد كسر مطلوب لمختلف مواد المواسير وأحجامها متاح فى المواصفات القياسية، حيث يتم مراجعة مطابقة المواسير للمواصفات باختبارات مراقبة الجودة التى تتم فى المصنع. مثال لذلك القيم المثالية لإجهاد الكسر لمواسير الفخار المزجج موضحة فى الجدول (٥/١).



شكل (٥/١٦) خط المواسير المدفون يجب أن يكون قادراً على مقاومة الأحمال الخارجية بدون حدوث أى تلف. الحمل على الماسورة بسبب الردم يتوقف على نوع التربة، عمق التغطية (H) وعرض الخندق (B).

جدول (٥/١) نماذج لإجهاد الكسر لمواسير الفخار المزجج

الإجهاد الزائد		الإجهاد القياسى		القطر الاسمى	
Ib/ft	KN/m	Ib/ft	KN/m	بوصة	مليمتر
رطل القدم	كيلونيوتن/المتر	رطل القدم	كيلونيوتن/المتر		
٢٢٠٠	٣٢	١٤٠٠	٢٠,٤	٨	٢٠٠
٢٤٠٠	٣٥	١٦٠٠	٢٣,٢	١٠	٢٥٠
٢٦٠٠	٣٧,٩	١٨٠٠	٢٦,٣	١٢	٣٠٠
٢٩٠٠	٤٢,٣	٢٠٠٠	٢٩,٢	١٥	٣٨٠
٣٣٠٠	٤٨,١	٢٢٠٠	٣٢,٠	١٨	٤٦٠

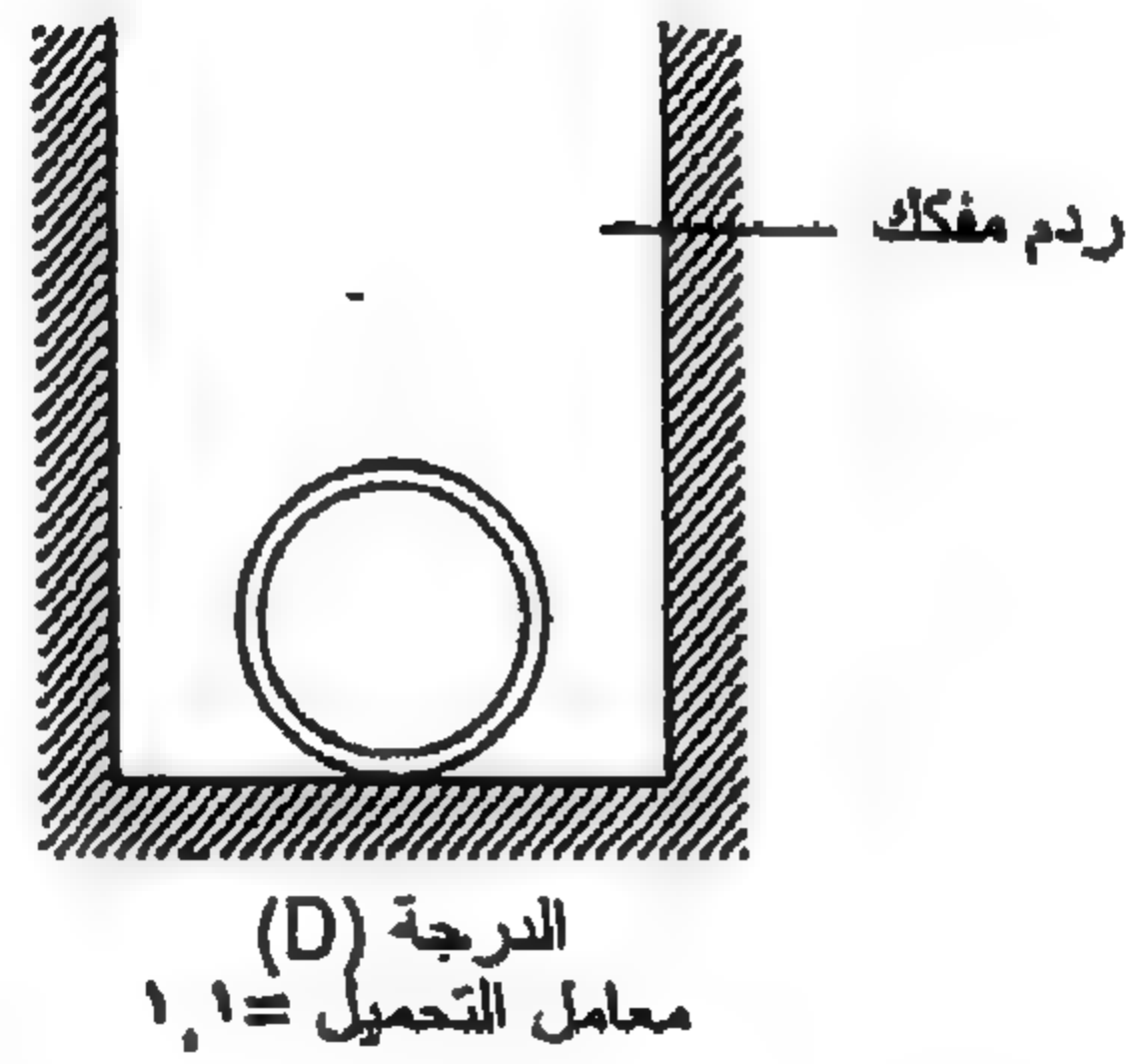
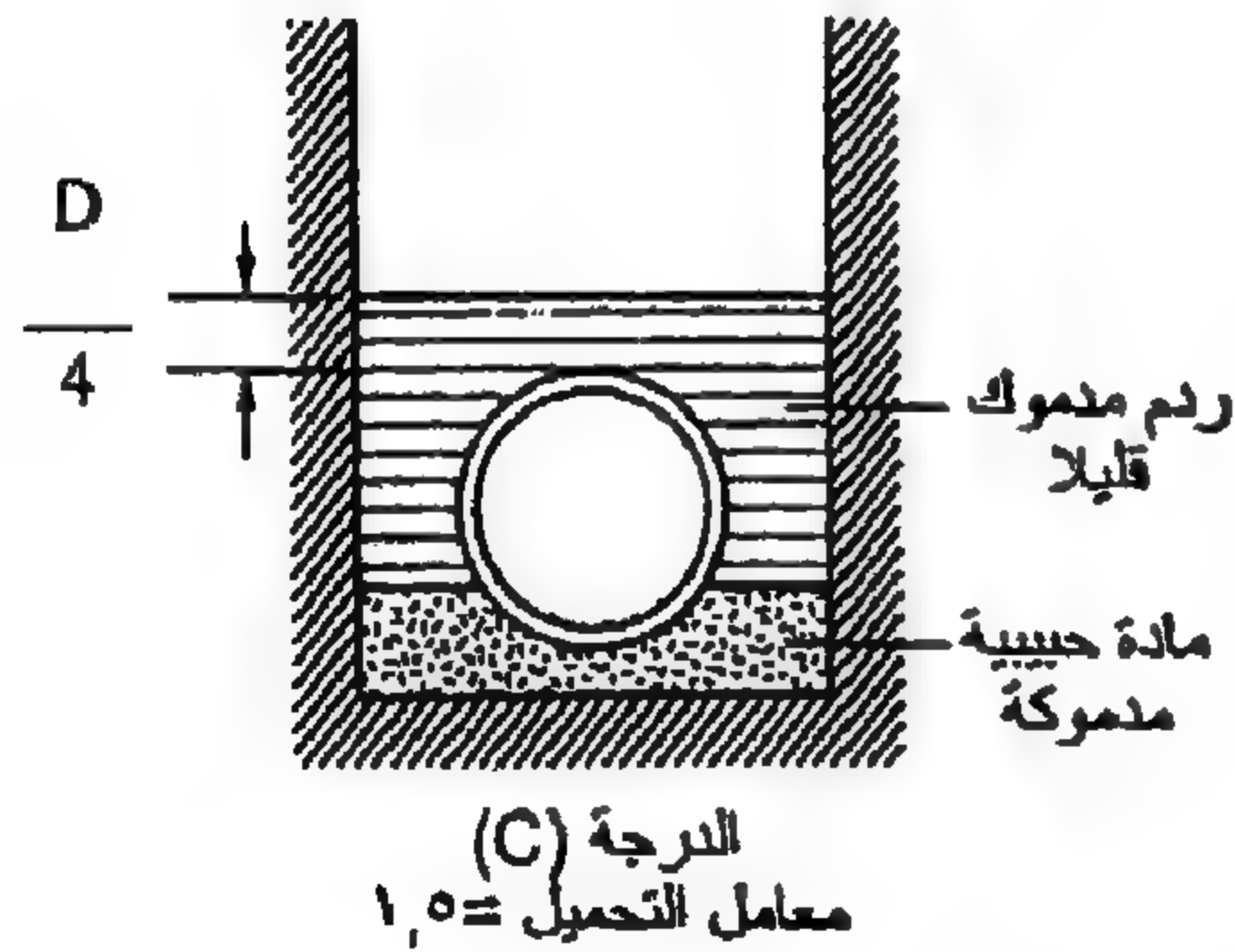
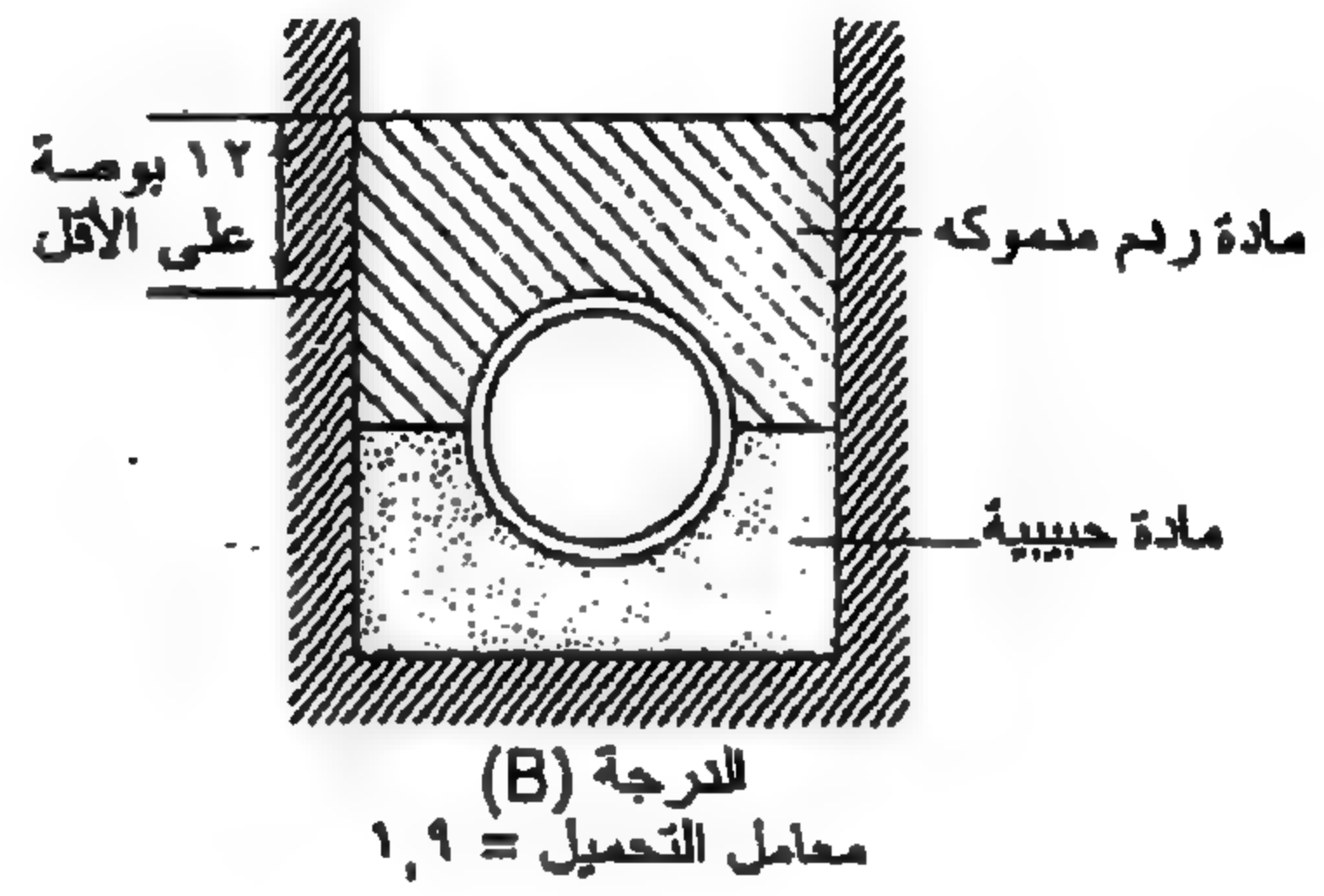
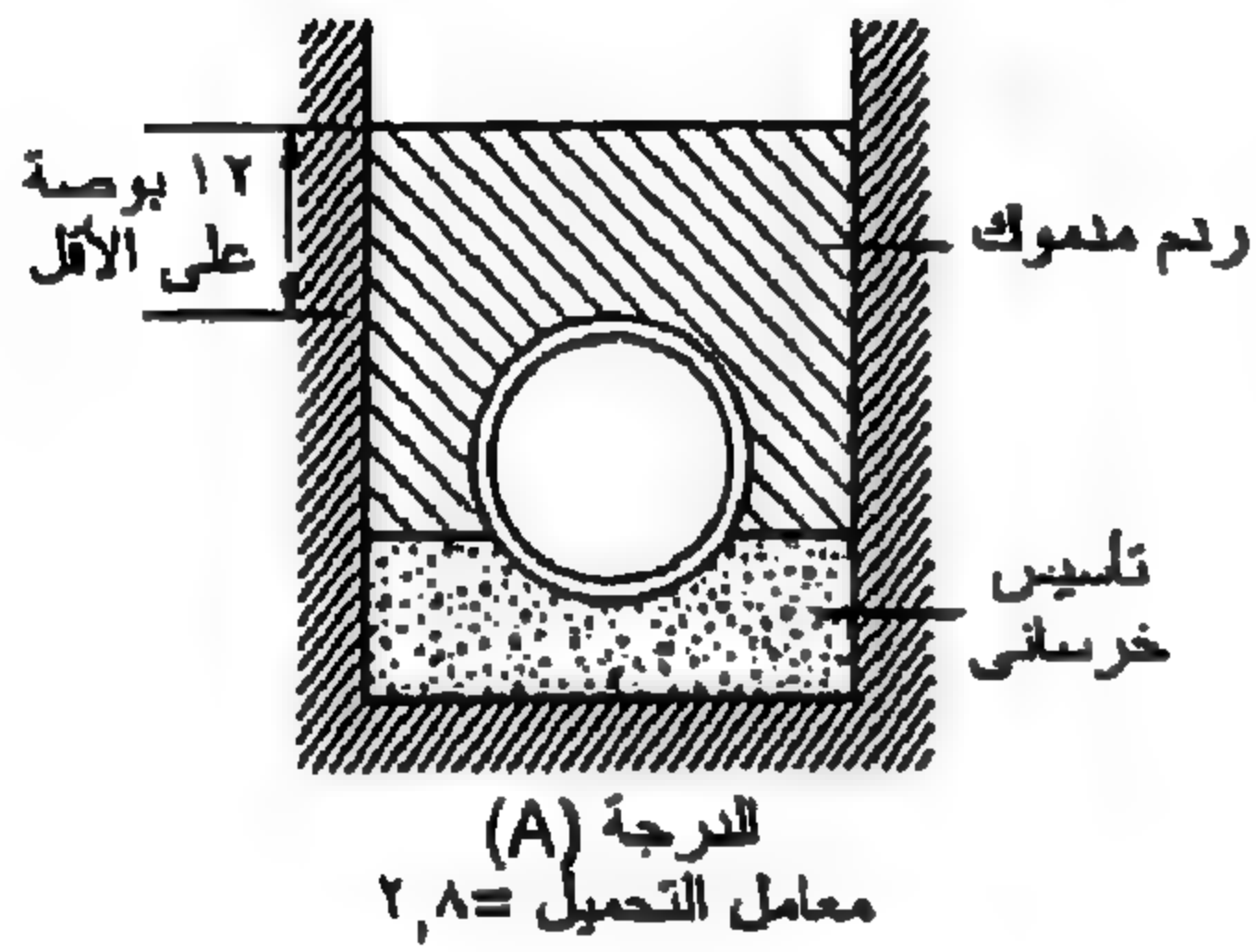
التأسيس هو الطريقة التى يتم بها وضع الماسورة فى قاع الخندق. التأسيس الجيد يزيد قوة التحميل للماسورة أعلى من قيمة إجهاد الكسر. بتوزيع الحمل على محيط الماسورة. نسبة قوة التحمل الواقعية الحقلية بالنسبة لإجهاد الكسر تسمى معامل التحميل (Load Factor).

معامل التحميل = إجهاد التحميل الحقلى ÷ إجهاد الكسر

طريقة أخرى للتعبير عن ذلك.

إجهاد التحميل الحقلى = معامل التحميل × إجهاد الكسر

الشكل (٥/١٧) يوضح أربعة أنواع من التأسيس. النوع (D) هو الأضعف والنوع الأدنى مطلباً ولا يوصى به فى إنشاء المواسير فى معظم الحالات. قاع الخندق يتم تركه مستوياً، وأسطوانة الماسورة لا يتم تحميلها ذلك لوجود البروز فى النهايات، الردم يتم وضع الردم من التربة المفككة فوق الماسورة بدون الدمك.



شكل (٥/١٧) مختلف أنواع حالات التأسيس التى تؤثر على قوة التحميل الآمنة للماسورة

الدرجة (C) تسمى التأسيس العادى، حيث توضع مادة حبيبية مدمجة تحت الماسورة وتمتد محاذية لاستدارة الماسورة. هذا يوفر تحمل جيد ومعامل تحميل ١,٥. بمعنى أن قوة التحميل الحقلية هي ١,٥ ضعف إجهاد الكسر.

الدرجة (B) أو تأسيس الدرجة الأولى، يكون له مادة حبيبية مدمجة ممتدة نصف المسافة لأعلى استدارة الماسورة، والردم يتم دمكه بحرص فوق قمة الماسورة، معامل

التحميل هو ١,٩. في تأسيس الدرجة (A)، فإن استدارة الماسورة يتم وضعها في فرشاة خرسانية مع الدمك الحذر للردم، بما يوفر معامل تحميل ٢,٨.

بالإضافة إلى معامل التحميل الذي يتم توفيره بتأسيس الماسورة، فإنه يتم توفير معامل أمان للحسابات للوصول إلى قوة تحميل آمنة لخط المواسير كالاتي :

$$\text{قوة التحميل الآمنة} = \text{قوة التحميل الحقلية} \div \text{معامل الأمان}$$

مع الاستبدال في المعادلة السابقة وهي :

$$\text{معامل التحميل} = \text{قوة التحميل الحقلية} \div \text{إجهاد الكسر}$$

$$\text{عندئذ فإن قوة التحميل الآمنة} =$$

$$= \text{معامل التحميل} \times \text{إجهاد الكسر} \div \text{معامل الأمان}$$

يستخدم عادة معامل أمان ١,٥ بالنسبة للمواسير من الفخار المزجج أو المواسير الخرسانية الغير مسلحة للتعويض عن احتمال استخدام مواد ذات نوعية متدنية أو عند وجود أخطاء في الإنشاء.

معادلة مارستون : (Marston's Formula)

لتعيين حالة التأسيس الجيدة لخط المواسير، فإنه يجب أولاً تعيين إجمالي الحمل الحي والحمل الميت. درجة التأسيس يتم اختيارها بما يحقق تساوى قوة التحميل الآمنة تساوى أو تزيد عن إجمالي الحمل المحسوب على الماسورة.

بالنسبة للمواسير في الخنادق الضحلة، فإن أحمال الحركة المرورية قد تكون جزءاً من الحمل الكلى، توجد جداول للمساعدة في التصميم وذلك بتقدير تلك الأحمال الحية. بالنسبة للمواسير في الخنادق العميقة نسبياً، مثل مواسير الصرف الصحي فإن الحمل الحي للحركة المرورية يكون غير هام مقارنة للحمل الميت بسبب الردم. لغرض التوضيح سوف يتم فقط اعتبار الحمل الميت على الماسورة.

المعادلة المستخدمة عادة لتقدير الحمل الميت الناتج عن الردم تعرف بمعادلة مارستون ويعبر عنها بالآتي :

$$W = C_w B^2$$

حيث :

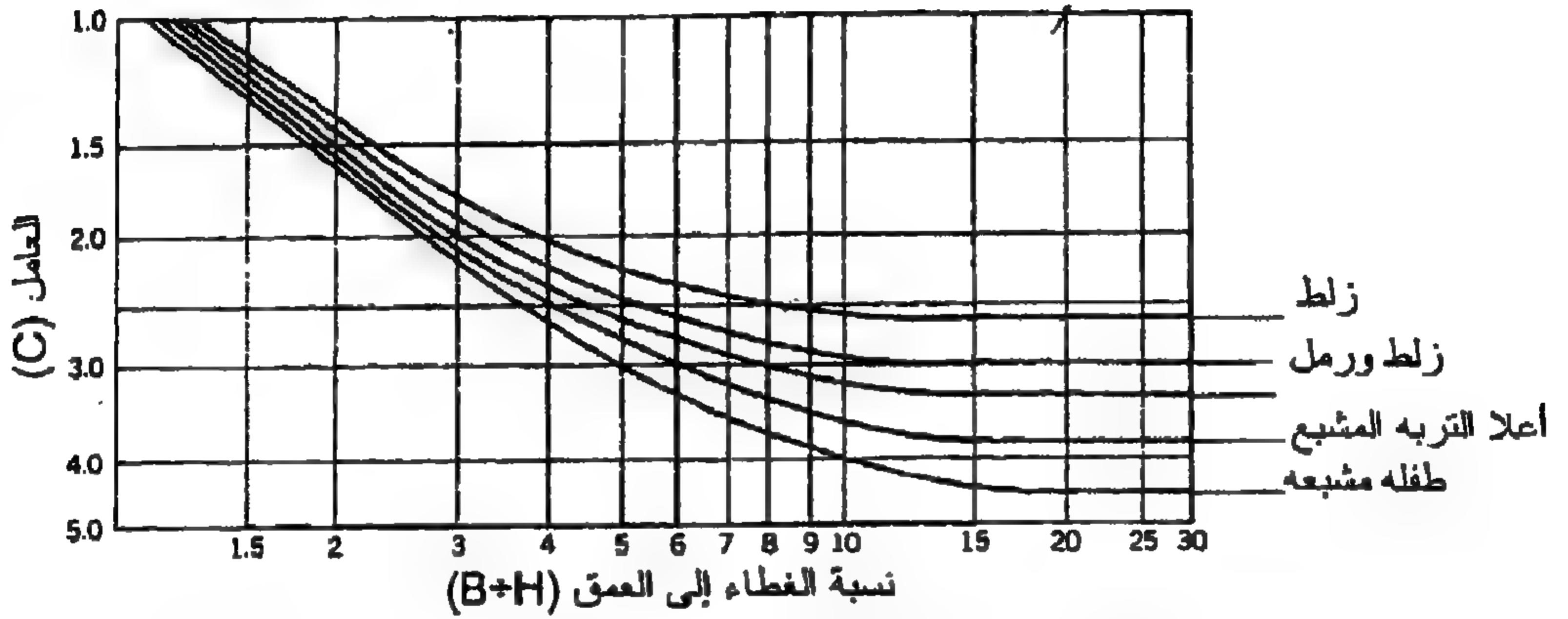
$$W = \text{الحمل الميت بسبب الردم، كيلو نيوتن، المتر (رطل/القدم)}$$

$C =$ معامل

$\omega =$ وحدة الوزن لتربة الردم كيلو نيوتن/ المتر المكعب (رطل/ القدم المكعب)

$B =$ عرض الخندق عند أعلى الماسورة، بالمتر، (القدم)

قيمة المعامل (C) تتوقف على عمق طبقة التغطية، عرض الخندق، ونوع مادة الردم. المخطط الذى يوضح قيمة (C) موضح فى الشكل (٥/١٨).



شكل (٥/١٨) قيم المعامل (C) فى معادلة مارستون

القيم التقليدية لوحدة الوزن، لقليل من أنواع التربة موضح فى الجدول (٥/٢) الآتى :

جدول (٥/٢) القيم الوحدة الوزن للتربة

وحدة الوزن		نوع التربة
رطل/ القدم المكعب	كيلو نيوتن/ المتر المكعب	
١١٠	١٧,٢	الرمل والزلط
١٢٠	١٨,٨	الطفل
١٣٠	٢٠,٤	الطفل المشبع

المثال الآتى المبسط يوضح استخدام معادلة مارستون وتحليل حالات تأسيس الماسورة.

مثال :

ماسورة بقطر ٣٠٠ مليمتر وضعت فى خندق مستطيل بعمق ٣ متر واتساع ٠,٦ متر. الخندق تم ردمه بالطفلة التى لها وحدة وزن ١٨,٨ كيلو نيوتن/ المتر المكعب. احسب الحمل الميت بسبب الردم الذى يجب أن تتحمله الماسورة.

الحل :

الغطاء H يساوى إجمالى عمق الخندق ناقص قطر الماسورة أو

$$H = 3 \text{ متر} - 0,3 \text{ متر} = 2,7 \text{ متر}$$

نسبة الغطاء إلى العرض $B : H = 2,7 : 0,6 = 4,5$

من الشكل (٥/١٩)، اقرأ المعامل $(C) = 2,6$ للتربة الطفلية.

والآن باستخدام معادلة مارستون يكون لدينا

$$C_w B^2 = W (0,6)^2 \times 18,8 \times 2,6 = W$$

$$18 = \text{كيلو نيوتن/المتر}$$

مثال :

إذا كانت الماسورة فى المثال السابق هى من الفخار المزجج بالإجهاد القياسى، ما هى درجة التأسيس التى يتم توصيفها للإنشاء، باستخدام معامل أمان ١,٥؟

الحل :

من الجدول (٥/١)، إجهاد الكسر القياسى لماسورة الفخار ٣٠٠ مليمتراً هو ٢٦,٣ كيلو نيوتن/المتر. من الحل فى المثال السابق، قوة التحميل الآمنة لخط المواسير يجب أن تساوى — (أو أكبر من) الحمل الميت لـ ١٨ كيلو نيوتن/المتر. باستخدام المعادلة (٣).

إجهاد التحميل الآمن = معامل التحميل × جهد الكسر ÷ معامل الأمان

$$18 \text{ كيلو نيوتن/المتر} = \text{معامل التحميل} \times 26,3 \text{ كيلو نيوتن/المتر} \div 1,5$$

$$\therefore \text{معامل التحميل} = 18 \times 1,5 \div 26,3 = 1$$

طبقاً لهذه الحسابات، التأسيس بالدرجة (D)، مع معامل تحميل ١,١ سيكون مناسباً. ولكن استخدام الدرجة (D) للتأسيس لا يعتبر عمل إنشائى جيد، ولذلك يفضل توصيف الدرجة (C) للتأسيس بدلاً منها.

مثال :

ماسورة من الفخار المزجج بقطر ٨ بوصات مطلوب وضعها فى خندق بعرض ٢ قدم مع طبقة تغطية ١١ قدم. مادة الردم من الطفلة المشبعة. عين ظروف التأسيس المطلوبة للقوة القياسية وكذلك لماسورة ذات قوة زائدة باستخدام معامل أمان ١,٥.

الحل :

أولاً، يتم حساب النسبة ما بين الغطاء والعمق وتعيين قيمة (C).

$$B : H = 11 : 2 = 5,5$$

من الشكل (٥/١٩) (C) = ٣,٢، من الجدول (C) يتم قراءة قيمة $w = 130$ رطل / القدم المكعب.

الآن باستخدام معادلة مارستون فإننا نحصل على

$$W = 130 \times 3,2 \times (2,0)^2$$

والحمل الميت $W = 1700$ رطل / القدم تقريباً.

قوة التحميل الآمنة يجب أن تساوى أو تزيد عن هذا الحمل.

بالنسبة للقوة القياسية لماسورة الفخار ٨ بوصات، إجهاد الكسر يساوى ١٤٠٠

رطل / القدم. باستخدام المعادلة (٣) نحصل على

$$1700 = \text{الحمل الميت} \times 1400 \div 1,5$$

$$\text{الحمل الميت} = 1700 \times 1,5 \div 1400 = 1,8$$

الشكل (٥/١٨) يوضح أن التأسيس بالدرجة (B)، والذي له معامل تحميل ١,٩، يكون

مطلوباً للقوة القياسية للماسورة من الفخار المزجج فى هذه المسألة، الدرجة (C) ليس لها

معامل تحميل مرتفع كافى. بالنسبة للقوة الزائدة لماسورة الفخار المزجج إجهاد الكسر هو

٢٢٠٠ رطل / القدم، وإعادة حساب معامل التحميل المطلوب ينتج عنه.

$$\text{معامل التحميل} = 1700 \times 1,5 \div 2200 = 1,2$$

لذلك، فإنه تستخدم ماسورة ذات القوة الزائدة وليست ذات القوة القياسية، التأسيس

بالدرجة (C) مع معامل تحميل ١,٥ سيكون كافياً.

التكاليف الإضافية للماسورة الأقوى يمكن قبولها نظراً لما تحققه من وفر فى الوقت،

المواد، والمال الذى سوف يتم إنفاقه لتأسيس الدرجة (B).

التخطيط الحقلى والإنشاء : (Field lay out and Installation)

الاعتبار الأساسى فى إنشاء خطوط مواسير الصرف هو الدقة فى التخطيط الحقلى

للخط والانحدار لخط المواسير، كما توضحه فى رسومات الإسقاط الرأسى. الخط أو

الاستقامة الأفقية، تبين مكان واتجاه خط المواسير خلال المسار الصحيح. ميل الماسورة يجب كذلك تحديده بدقة لتوفير الطاقة الهيدروليكية المطلوبة.

في الاستطلاع الحقلى للإنشاء، يتم تحديد مكان خندق المواسير ووضعه كخط ملتوى، والذي يسير موازياً لمحور خط مواسير الصرف. يتم تعليم هذا الخط بواسطة قوائم خشبية، مثبتة في التربة على فواصل منتظمة، عادة بطول حوالى ١٥ متر (٥٠ قدم). خط التعليم (Offset Line) يكون بعيداً عن محور الماسورة بما يحافظ على وجوده أثناء الإنشاء، وأن يكون قريباً بما يكفى من سرعة انتقال القياسات إلى الخندق المحفور بواسطة القائم بالإنشاء.

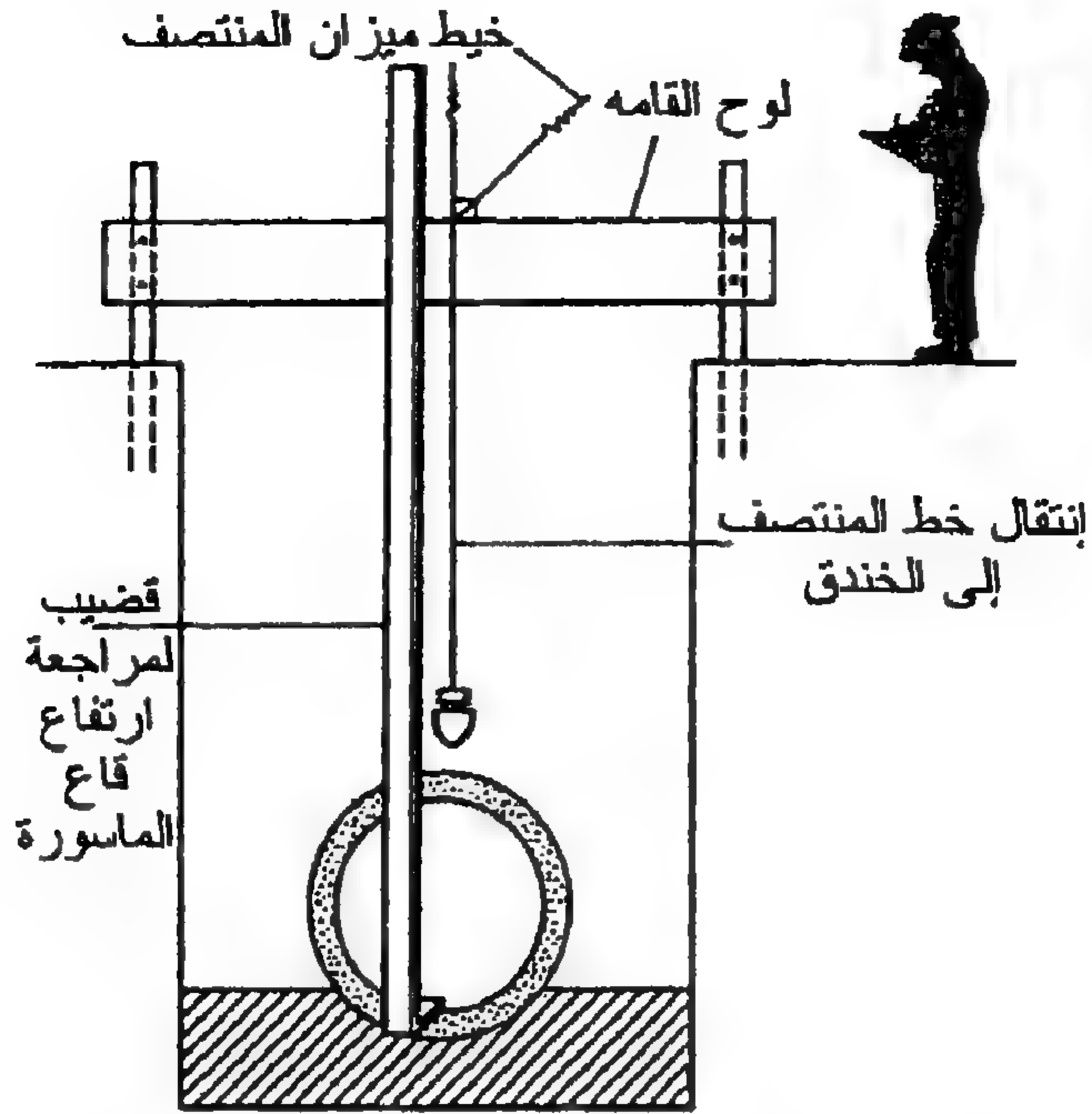
الأعمدة الخشبية يمكن وضعها بحيث تكون قممها ذات ارتفاع معين فوق قاع الخندق المطلوب. يمكن عندئذ استخدامها من آن إلى آخر لمراجعة عمق الخندق أثناء الحفر.

تستخدم طريقتين لوضع المواسير في الخندق المفتوح بطريقة صحيحة، وهما طريقة لوح القامة (Batter Board) والليزر. طريقة لوح القامة هي الأقدم إلا أن استخدام طريقة أجهزة الليزر أكثر دقة وأسرع. ولكن طريقة لوح القامة مازال يستخدم في إنشاء مواسير الصرف.

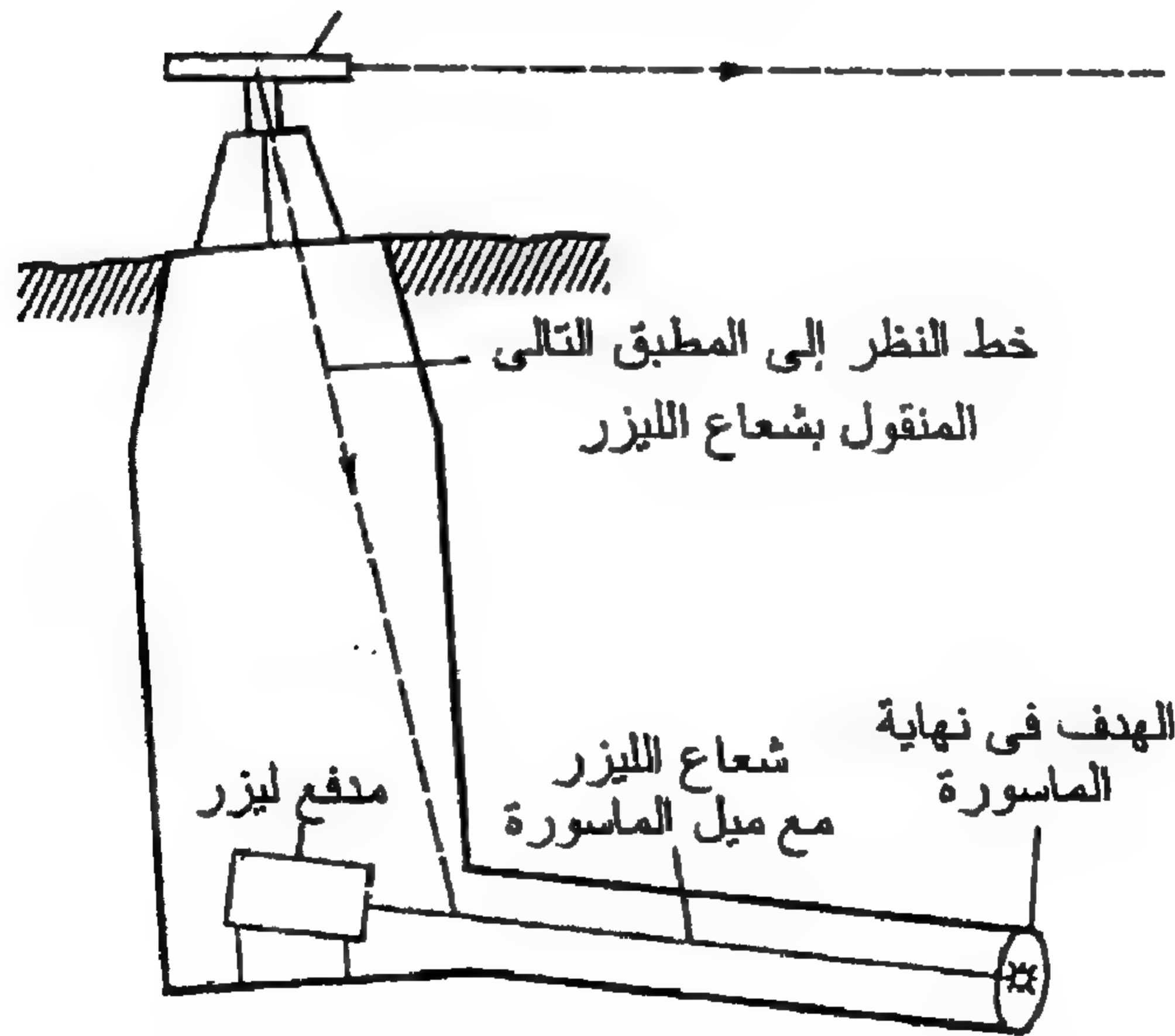
ألواح القامة : (Batter Boards)

بعد حفر الخندق، يتم وضع ألواح القامة فوق الخندق بفواصل منتظمة، كما فى الشكل (٥/١٩). عادة يتم وضع قمة اللوح على ارتفاع متساوى فوق الارتفاع المطلوب لقاع الماسورة السفلى. يتم تعليم خط المنتصف لمسار خط الصرف على اللوح الخشبي ثم امتداده كخط بصرى بواسطة التيودوليت، يتم امتداد خيط من لوح إلى لوح على طول هذا الخط.

يتم انتقال خط المنتصف إلى أسفل فى الخندق بواسطة خيط الميزان المعلق ارتفاع القاع يتم تحديده ومراجعته باستخدام قامة رأسية مبين عليها علامات ذات مسافات متساوية. النهاية السفلية للقامة توضع على السطح السفلى لقاع الماسورة، ويتم مراجعة خيط الميزان لمعرفة ما إذا كان يتطابق مع علامة الارتفاع المطلوب على القامة. وفى حالة عدم التطابق مع العلامة الصحيحة، يتم عمل الضبط لارتفاع قاع الماسورة بواسطة العامل فى الخندق.



شكل (٥/١٩) لوحة القامة في إنشاء خط الصرف



ضبط القاع لحين ضربات القاع لمنتصف الغرض

شكل (٥/٢٠) في إنشاءات مواسير الصرف الحديث تستخدم

إشعاعات الليزر لتعيين ميل الماسورة

جهاز الليزر : (Lesers)

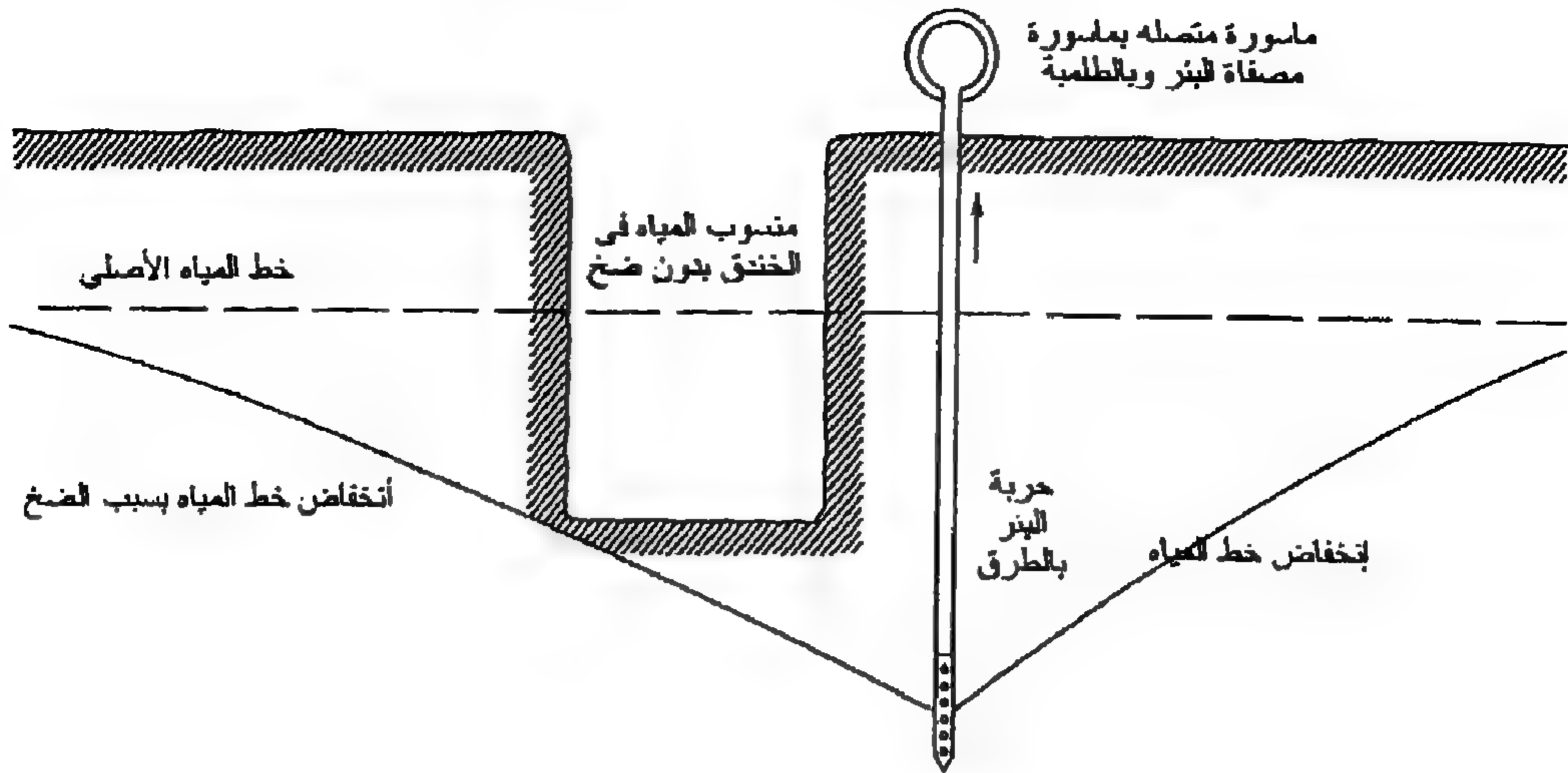
الليزر هو جهاز يمكنه أن يبعث شعاع ضوئي ضيق وكثيف لمسافة طويلة. هذا الشعاع الضوئي في شكل القلم يمكن توجيهه خلال الماسورة ويمكن أن يرى على هدف موضوع في النهاية الأخرى من الماسورة، كما في الشكل (٥/٢٠). يتم وضع جهاز الليزر في غرفة التفتيش، وميل الشعاع الضوئي يتم ضبطه بدقة ليتطابق إلى أسفل مع جهاز الليزر. الليزر يمكن أن يحقق دقة في ميل الماسورة بنسبة ٠,٠١% على مسافات حتى ٣٠٠ متر (١٠٠٠ قدم). أي أن الارتفاعات يمكن تحديدها بدقة خلال ٣٠ ملليمتر في طول الماسورة ١٠٠٠ متر (٠,١ قدم لكل طول ١٠٠٠ قدم من خط المواسير).

الحفر : (Excavation)

أكثر أنواع المعدات استخداماً في حفر خندق مواسير الصرف هو الحفار الخلفي (Backhoe). رغم أن هذا يمكن أن يتغير طبقاً لعمق ونوع مادة التربة (تربة عادية أو صخر) التي يتم حفرها. يجب المحافظة على أن يكون عرض الخندق ضيق كلما أمكن ذلك بينما يسمح بمساحة كافية للعامل. الخندق الضيق لا يقلل من تكاليف الحفر فقط ولكنه يقلل من حمل الردم على الماسورة. عموماً يلزم ما لا يقل عن ٣٠٠ ملليمتر (واحد قدم) على كل جانب من الماسورة.

لتحقيق الأمان، فإن اجناب الخندق بعمق أكبر من ١,٥ متر (٥ قدم) يجب تحميلها بالواح سائدة خشبية أو معدنية ملتصقة بسطح التربة ويتم تثبيتها بعروق خشبية ممتدة فوق الخندق من جانب إلى آخر وذلك لمنع الانهيار للتربة وحماية العمال.

في حالة وجود مياه جوفية في الخندق، يتم سحب المياه باستخدام طلمبة أو باستخدام حربة (مصفاة) البئر. تأثير مصفاة البئر في خفض منسوب المياه الجوفية قريباً من الخندق موضح في الشكل (٥/٢١).



شكل (٥/٢١) سلسلة من حراب البئر متصلة بالمسورة الرئيسية والطمبة وذلك لسحب المياه من الخندق المحتوى على مياه جوفية.

تداول ووضع الماسورة فى الخندق والردم :

التأسيس الغير صحيح يمكن أن يؤثر بالسلب على قوة تحمل الماسورة، مسبباً انحناء فى الماسورة، أو شروخ وما يترتب عليه من زيادة تسرب المياه الأرضية إلى داخل الماسورة. من المهم فى التأسيس أن يكون كل طول أسطوانة الماسورة محملاً بانتظام على التربة أو على الطبقة الزلطية أسفل الماسورة. يتم تداول الماسورة بحرص شديد ووضعها بدون أدنى اضطراب للمادة الحاملة على قاع الخندق. يجب الحرص فى توصيل المواسير بما يحقق عدم حدوث تسربات من خلال الوصلات.

يتم الردم للخندق بعد وضع الماسورة مباشرة عند المستوى المطلوب. مواد الردم يجب عدم احتوائها على كتل حجرية أو زلطية كبيرة، أو جذوع الأشجار أو أى مخلفات زراعية. يتم وضع الردم ودمكه فى طبقات متجانسة بعمق حوالى ١٥ سم (٦ بوصة) إلى ارتفاع حوالى ٣٠ سم (١ قدم) فوق قمة الماسورة، بعد ذلك يمكن استمرار الردم العادى بطريقة أسرع.

٤ - التسرب إلى الداخل :

عند وجود خط مواسير صرف صحى حيث التدفق بالجاذبية أسفل خط المياه الجوفية، فإن المياه الجوفية سوف تتسرب إلى داخل المواسير خلال الوصلات الضعيفة بين المواسير، وحيث توجد التشققات فى المواسير، أو إنشاءات غرف التفريش الضعيفة

المسببة للتسرب. التحكم في التسرب هذا يعتمد أساساً على نوعية الإنشاء لخط المواسير. حتى في حالة نظام مواسير الصرف المنشأة جيداً، فإنه سوف يكون هناك بعض التسرب، ولذلك فإن بناء إنشاء خط مواسير بالتدفق أسفل خط المياه الجوفية ليكون تام الإحكام ضد تسرب المياه لا يعتبر مجدياً أو اقتصادياً. عموماً يسمح بحوالي ٤٥ لتر في اليوم لكل مليمتراً من قطر الماسورة لكل كيلو متر من خط المواسير (٤٥ لتر/اليوم/المليمتراً/الكيلومتراً) في المواصفات بالنسبة لمشروع إنشاء خطوط مواسير الصرف. وهذا يعادل تقريباً ٥٠٠ جالون/اليوم/البوصة من قطر الماسورة/الميل من طول خط المواسير.

مثال :

ما هو المعدل الكلي المسموح به للتسرب في خط مواسير بطول ١,٥ كيلو متر، قطر ٢٠٠ مليمتراً، إذا كان المقبول هو ٤٥ لتر/اليوم/المليمتراً/الكيلومتراً؟ وكيف يقارن إلى أدنى طاقة للماسورة.

الحل :

معدل التسرب المسموح به يتم حسابه كالاتي :

٤٥ لتر/اليوم/مليمتراً / كيلو متر \times ٢٠٠ مليمتراً \times ١,٥ كيلو متر = ١٣٥٠٠ لتر في اليوم.

أدنى طاقة لماسورة بقطر ٢٠٠ مليمتراً هو التصريف الذي يكون له سرعة التنظيف الذاتي ٠,٦ متر/الثانية. باستخدام مخطط ماننج في الشكل (٢/٢١) يتم قراءة التصريف لـ ٠,٠١٩ متر مكعب في الثانية أو ١٩ لتر في الثانية بالتحويل إلى لتر/اليوم يعطى :

١٩ لتر/ث \times ٣٦٠٠ ث/الساعة \times ٢٤ ساعة/اليوم = ١٦٠٠٠٠٠ لتر/اليوم

نسبة التسرب إلى طاقة الماسورة عندئذ يكون

$١٦٠٠٠٠٠ \div ١٣٥٠٠ = ٠,٠٠٨$ أو ٠,٨ %

هذه الكمية تعتبر مهمة مقارنة بطاقة الماسورة.

المياه السطحية التي تدخل خط المواسير خلال غطاء غرفة التفتيش الغير محكم القفل أو الوصلات الغير محكمة. من المهم منع حدوث تسرب أو تدفق داخل خط الصرف الصحي ذلك لتجنب الطفح أثناء فترة سقوط الأمطار، هذا بالإضافة إلى أن محطات معالجة الصرف الصحي غير مصممة لتداول هذا الحجم الزائد من المياه بما يسبب تحميل هيدروليكي زائد وإتلاف لعملية المعالجة.

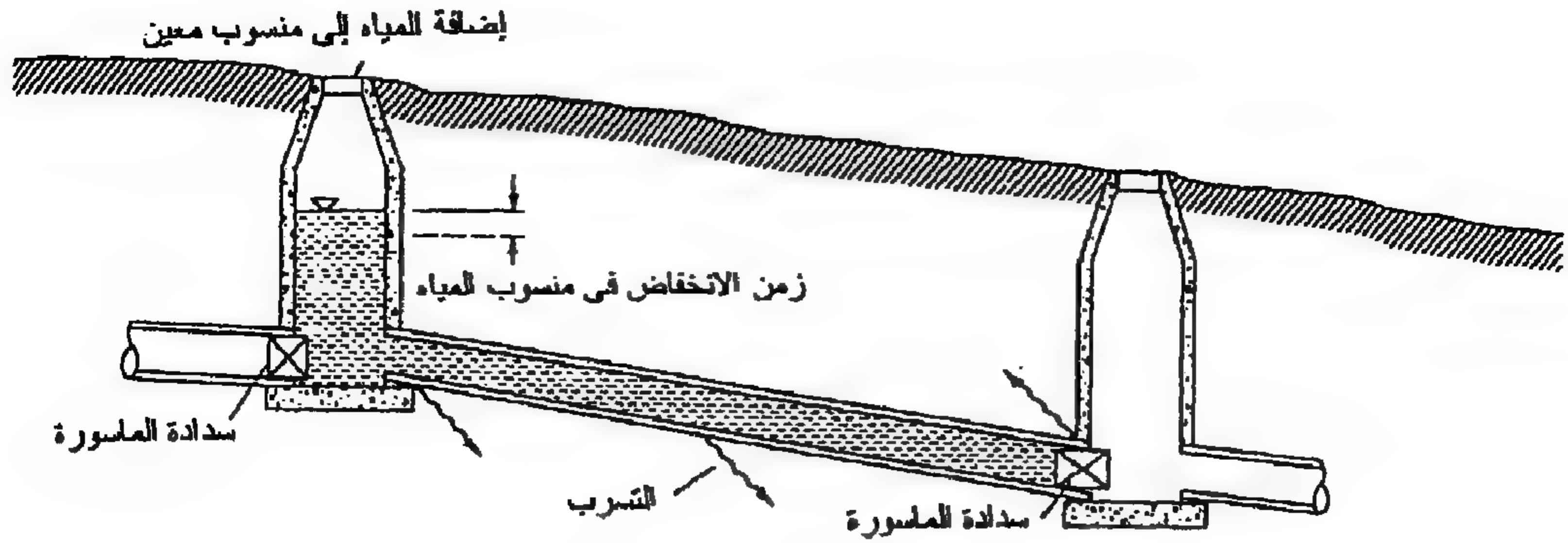
يجب اختبار خطوط المواسير المنشأة حديثاً وذلك للتأكد من مطابقتها لمواصفات التسرب وذلك قبل وضعها في الخدمة. كذلك فإن خطوط المواسير القديمة يجب كذلك اختبارها وذلك لتعيين مدى التسرب.

توجد طرق كثيرة لاختبارات التسرب والتدفق داخل المواسير (Infiltration and Inflow) وهذه تشمل : القياس المباشر، اختبار الرشح إلى خارج الماسورة (Exfiltration)، اختبار الدخان (Smoke Testing)، اختبار الضغط المنخفض للهواء.

القياس المباشر للتسرب داخل المواسير (Infiltration) يتم لخط المواسير الجديد وعند وجوده أسفل خط المياه الجوفية عند وقت الاختبار وذلك قبل عمل وصلات الخدمة. يمكن وضع هدار على شكل حرف V عند نهاية طول معلوم لخط المواسير لقياس التدفق، حيث أن أي تدفقات خلال الخط يجب أن تكون نتيجة تسرب المياه الجوفية إلى داخل الخط.

كذلك يمكن عمل القياس المباشر كجزء من العمليات المساحية للخط القديم. ولكن في حالة شبكات الصرف الخدمة فإن قياسات التدفق يجب أن تتم عند حوالي الساعة الثالثة صباحاً، حيث يتوقع قليل من تدفقات مياه الصرف أو قد لا يكون هناك تدفقات في هذا الوقت.

عند اختبار خط صرف صحي جديد بالنسبة لأحكامه ضد تسرب الماء وعند وجوده فوق خط المياه الجوفية، كما هو الحال غالباً. اختبار التسرب للمياه إلى داخل الماسورة يتم في وضع القياس المباشر. وهذا عكس القياس للتدفق داخل الماسورة، حيث يقيس التدفق الخارج من خط المواسير بدلاً من التدفق الداخل إليه. بعد عمل الانسدادات للمواسير كما هو موضح في الشكل (٥/٢٢)، يتم ملء قطاع المواسير الجاري اختبارها بالماء. يتم ترك هذا القطاع مملوءاً بالماء لساعات قليلة بما يمكن من إزالة الهواء المحتجز وأن تصبح مادة المواسير مشبعة بالماء. في حالة خروج المياه وتسربها من خط الصرف، فإن منسوب المياه في غرفة التفتيش يتم ملاحظة أنه يهبط. بقياس كمية الهبوط في سطح الماء خلال فترة زمنية معلومة، فإن معدل تسرب الماء خارج الماسورة يمكن قياسه. من الواضح أنه في حالة تسرب المياه خارج الماسورة، فإن ذلك دليل على توقع مشاكل في حالة سقوط الأمطار أو ارتفاع منسوب المياه الجوفية.



شكل (٥/٢٢) اختبار التسرب يستخدم لمعرفة مدى أحكام

خط المواسير الجديد ضد تسرب المياه

مثال :

يتم عمل اختبار الرش خارج خط مواسير بطول ٤٠٠ قدم، بقطر ١٢ بوصة وذلك لقطاع المواسير بين المطبقين. منسوب المياه في مطبق (غرفة تفتيش) بقطر ٤ قدم لوحظ أنه هبط ٢ بوصة خلال ساعة واحدة. احسب معدل الرش خارج المواسير بالجالون في اليوم لكل بوصة من القطر لخط مواسير بطول واحد ميل.

الحل :

حجم المياه التي تسربت يساوي حاصل ضرب مساحة مقطع المطبق في الانخفاض في منسوب المياه. يتم حساب ذلك كالاتي :

$$\text{المساحة} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times 4^2}{4} = 12,6 \text{ قدم مربع}$$

$$\text{الانخفاض} = 2 \text{ بوصة} \times 1 \text{ قدم} / 12 \text{ بوصة} = 0,167 \text{ قدم}$$

$$\text{الحجم} = 12,6 \text{ قدم مربع} \times 0,167 \text{ قدم} = 2,1 \text{ قدم مكعب}$$

بتحويل الحجم إلى جالونات ينتج :

$$\text{الحجم} = 2,1 \text{ قدم مكعب} \times 7,6 \text{ جالون/قدم مكعب}$$

$$= 16 \text{ جالون}$$

$$\text{طول خط المواسير} = 400 \text{ قدم} \times 1 \text{ ميل} \times 5280 \text{ قدم}$$

$$= 0,076 \text{ ميل}$$

حيث أن الفترة الزمنية للهبوط كانت ساعة واحدة.

معدل التسرب = ١٦ جالون/ الساعة × ٢٤ ساعة/ اليوم

= ٤٣٨ جالون/ اليوم.

و

التسرب = ٣٤٨ جالون/ اليوم ÷ ١٢ بوصة + ٠,٠٧٦ ميل

= ٤٢٠ جالون/اليوم/ البوصة/الميل

يمكن كذلك تقدير إحكام نظام شبكة الصرف باستخدام اختبار طريقة الضغط المنخفضة للهواء، الضغط المستخدم هو حوالي ٤ أرطال على البوصة المربعة (٢٨ كيلو بار). المواصفات للفقد في الهواء المسموح به مقيما بالهبوط في الضغط، تستخدم بدلا من معدل الرشح للمياه خارج المواسير. في اختبار ضغط الهواء، يتم إحكام القفل بواسطة كرات خاصة المانعة لتسرب الهواء أو أى تجهيزات أخرى والتي تسمح بدخول الهواء المضغوط في قطاع المواسير بين المطبقين. يتم تعيين الزمن اللازم لحدوث انخفاض في الضغط قيمته واحد رطل/ البوصة المربعة (٧ كيلو بار). يتم مقارنة هذا الوقت بالوقت الموصف المسموح به، والذي هو بدلالة طول وقطر الماسورة. إذا كان الفقد في الضغط أقل من ذلك في الوقت الموصف، فإن قطاع المواسير يلزم إصلاحه حيث أثبت الاختبار أنه غير مطابق.

يمكن استخدام اختبار الدخان بكفاءة لتعيين أماكن التسرب في المواسير أو المصادر الغير قانونية للتدفقات الداخلة في الشبكة. في اختبار الدخان، يتم عزل قطاع المواسير بين المطبقين (ولكن لا يتم الانسداد الكامل للتدفق)، ويتم ضغط الدخان من أسطوانة دخان غير سام بواسطة ضاغط. الدخان يظهر فوق سطح الأرض حيثما يوجد ثقب أو شرخ في الماسورة. كذلك سوف يظهر مرتفعاً من سقف الصرف المنزلى حيث توجد وصلة غير قانونية في شبكة الصرف. لتجنب مشاكل الإنشاء والتشغيل المرتبطة بارتفاع منسوب المياه الجوفية فإنه يتم أحيانا إنشاء خطوط الصرف بالضغط أو بالتفريغ.

٥- صيانة خطوط مواسير الصرف الصحي : (Sewer Rehabilitation)

نظم الصرف هي جزء من البنية الأساسية للمجتمعات الحضرية، وهي من الأشغال العامة والوسائل التي تمكن المجتمع من الأداء الكفؤ ولكن نظم الصرف الصحي ليست مثل باقى البنية الأساسية الأخرى مثل البنية الأساسية للنقل كالطرق والكبارى والتي ترى

بالعين حيث أن نظم الصرف غالباً لا يتم الالتفات إليها بمجرد وضعها في الأرض. المثل القديم يقول البعيد عن العين بعيد عن العقل يكاد ينطبق في هذا الحالة.

عادة يكون الاهتمام لصيانة نظم جمع مياه الصرف ضعيفاً حيث يخصص لهذا الغرض قيمة متواضعة من الاستثمارات. وفي مثل هذه الحالات يحدث تسرب وحمل أحجام ضخمة من المياه الجوفية المتسربة، كما يحدث انسداد وأحمال من المياه تزيد عن طاقة خطوط الصرف ونتيجة لذلك وأحياناً يحدث تلف وانهيار. تكاليف الحفر واستبدال أجزاء من خطوط مواسير تجميع الصرف ذات الأداء الضعيف مكلف جداً. لذلك فإنه يكون من المناسب اقتصادياً استخدام أحد الطرق المتاحة لإصلاح وصيانة الشبكة داخلياً بدون الحفر. لذلك فإنه يكون من الضروري وجود برنامج صيانة مصمم لمنع حدوث التلف بدون اللجوء إلى أعمال الحفر.

إصلاح خط المواسير : (Pipe Line Repair)

توجد طرق كثيرة لاستعادة طاقة التدفق أو للحام أماكن التسرب في خطوط مواسير الصرف، والتي لا تحتاج إلى الحفر. الطرق التي يتم اختيارها تتوقف على طبيعة المشكلة، الحاجة إلى استمرار التدفق أثناء الإصلاح، احتمال حدوث ارتباك للحركة المرورية، الاعتبارات التأمينية، التكاليف.

النظافة والتفتيش :

خطوط مواسير الصرف يجب نظافتها قبل التفتيش بالمعاينة المباشرة وتعيين نظام الصيانة. الدفق في الخط (Flushing) باستخدام خرطوم المطافئ المتصل بخزان مياه الحريق وذلك بالتدفق في غرفة تفتيش هي الطريقة العادية للنظافة. ولكن هذه الطريقة يجب أن تتم بحرص لمنع ارتداد المياه إلى المنازل المتصلة بنظام الصرف.

طريقة نظافة أخرى، لخطوط الصرف بدون حدوث انسداد حاد، وذلك باستخدام كرة مطاط لينة والتي تتطابق مع قطر الماسورة حيث تدفع بواسطة حبل خلال قطاع المواسير بين مطبقين. أحياناً يستخدم قضيب معدني لتنظيف الماسورة وذلك باستخدام ماكينة دفع القضيب (Rodding Machine) وذلك للتنظيف الميكانيكي للخط من الانسداد. في خطوط الصرف حيث التراكبات من الرمال بسبب سرعة التدفق البطيئة نسبياً، فإنه يمكن استخدام الونش الذي يدفع قادوس أو دلو خلال الخط لكشط الرواسب. عند استخدام أي من هذه الطرق فإن الرواسب المتجمعة يجب إزالتها والتخلص منها بطريقة صحيحة.

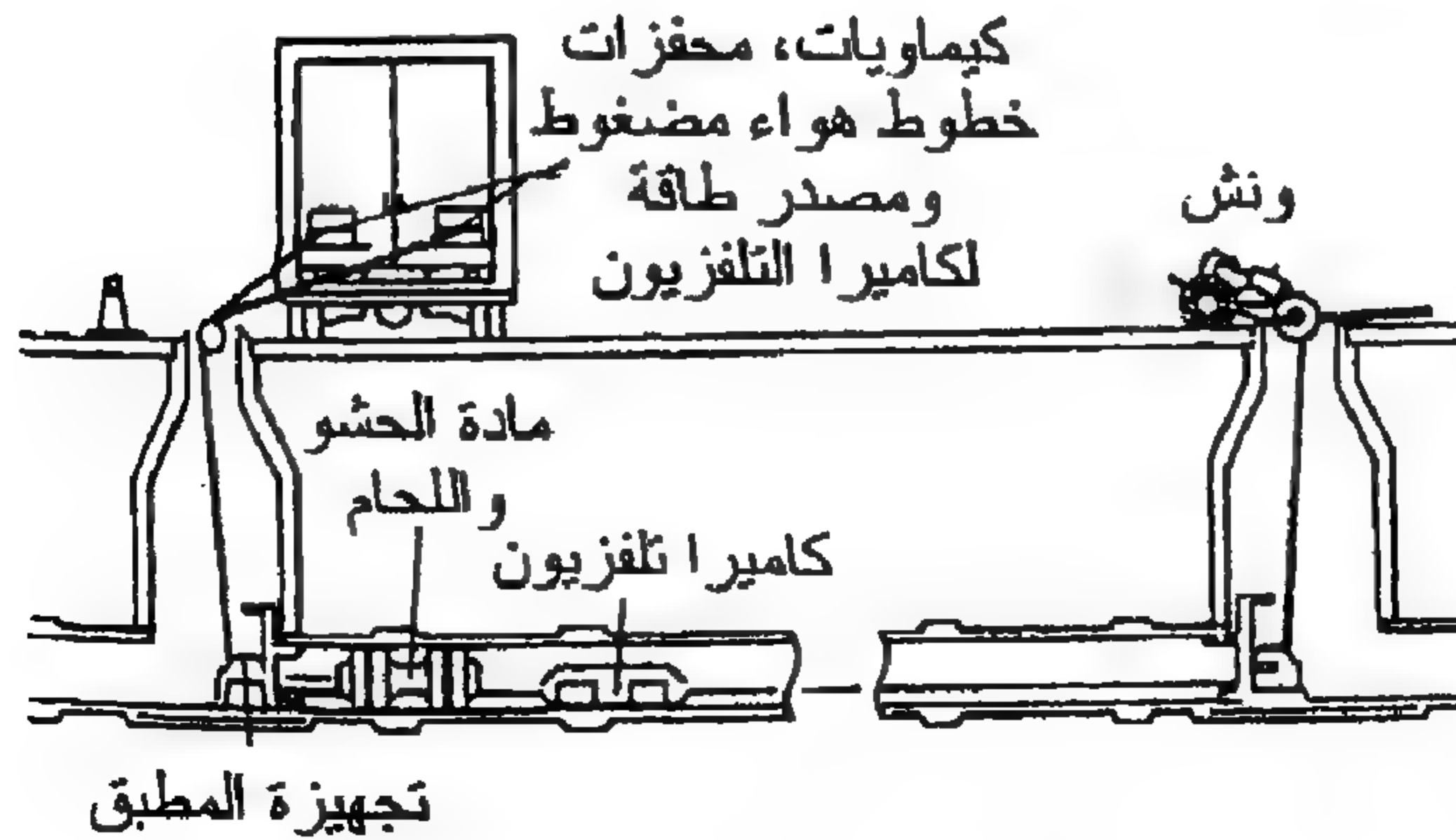
بعد النظافة فإنه يمكن عمل المعاينة البصرية باستخدام بطارية أثناء فترات التدفق المنخفض.

يمكن أن يتم التفتيش الأكثر اتقاناً باستخدام نظم الدوائر التلفزيونية المعلقة. التفتيش التلفزيوني يوفر التحديد الدقيق لأماكن التسرب، وكذلك دخول جذور النباتات، وأي مشاكل إنشائية. يتم دفع الكاميرا خلال قطاع المواسير بين المطبقين على وسيلة حمل خاصة، ويتم عمل تسجيل فوتوغرافي أو على شريط فيديو لعملية التفتيش.

الحقن بالملاط : (Grout)

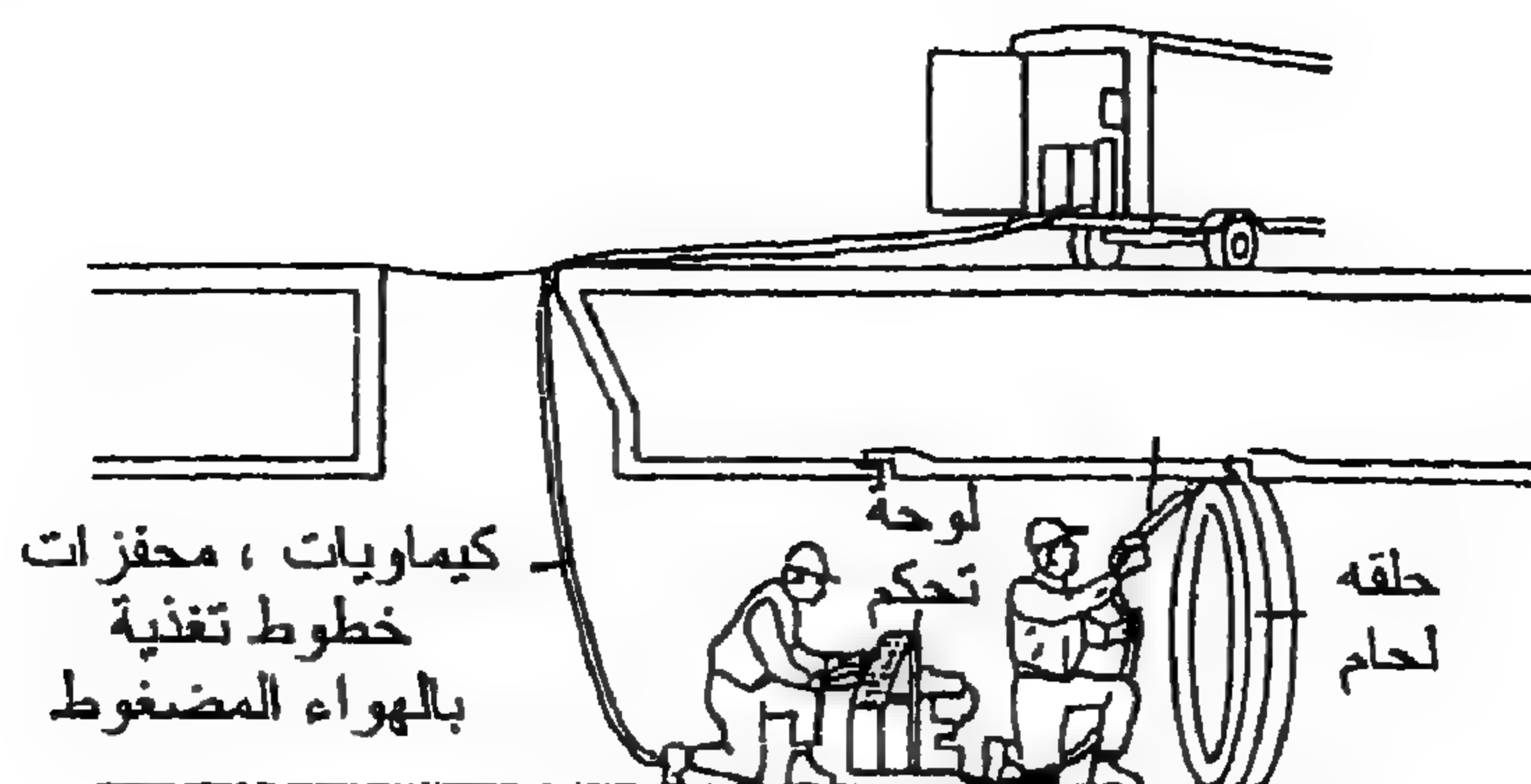
قفل نقاط وأماكن التسرب بمواد الملاط الكيماوية في خطوط الصرف تعتبر طريقة عادية من طرق الصيانة. يتم استخدام الملاط داخلياً نحو الوصلات، الثقوب، أو الشقوق باستخدام أدوات خاصة وتقنيات خاصة وذلك بدون الحاجة إلى الحفر. مواد الملاط من النوع الجيلاتيني التي تستخدم حيث تتجمد بعد دفعها في الوصلات أو الشقوق تحت الضغط. في حالة خطوط الصرف الصغيرة أو المتوسطة يمكن دفع مادة الحشو للحام بواسطة كم من المطاط (Sleeve) قابل للنفخ بين المطبقين، كما هو موضح في الشكل (٥/٢٣). تستخدم دائرة تلفزيونية مغلقة لتعيين مكان الحشو على الوصلة أو الشقوق اللازم إصلاحه.

في خطوط ذات الأقطار الكبيرة، فإنه يجب دخول العمال الخط لوضع حلقة اللحام يدوياً فوق الوصلة الغير صحيحة كما هو موضح في الشكل (٥/٢٤). يتم ضخ مادة الملاط خلال مغرز محمول يدوياً. يجب اختبار الهواء داخل خط المواسير بالنسبة لثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين والغازات المتفجرة وذلك قبل دخول العمال مع عمل احتياطات الأمان المناسبة.



شكل (٥/٢٣) في الخطوط الصغيرة،

يمكن دفع مادة الحشو واللحام خلال الخط لإصلاحه

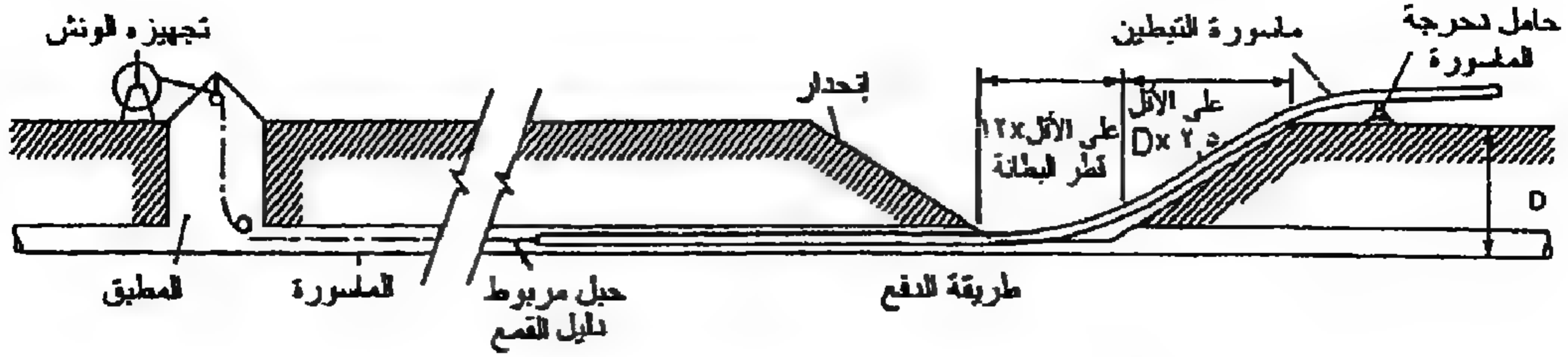


شكل (٥/٢٤) فى المواسير الكبيرة،
يجب دخول العمال فى الخط لإجراء عملية الإصلاح

التبطين : (Linings)

خطوط المواسير الضخمة حيث حدوث تلف ناتج عن تآكل السطح الداخلى العلوى (Crown) يمكن تقويتها باستخدام التبطين الداخلى بالمونة الأسمنتية بضغط الهواء (Guniting)، حيث يستخدم خليط من الرمل الناعم، والأسمنت والماء. يتم استخدام الهواء المضغوط برش المونة الأسمنتية والتي تلتصق بالسطح العلوى وأجناب الماسورة. يمكن تجديد أطوال كبيرة من المواسير الخرسانية باستخدام التبطين الهوائى بالمونة الأسمنتية.

الطريقة المستخدمة لإصلاح التشققات الخارجية لخطوط المواسير تسمى التبطين المنزلق (Sliplining). وهذه عبارة عن دفع ماسورة بلاستيك مرنة للتبطين فى الماسورة، ثم إعادة توصيل فرعات الخدمة المنفصلة مع البطانة. هذا موضح فى الشكل (٥/٢٥). أحيانا الفاصل المحيطى الضيق بين البطانة والماسورة القديمة يتم ملؤه بالمونة الأسمنتية لمنع الحركة. يلزم العديد من الحفر لربط كل فرعة خدمة إلى البطانة الجديدة. طريقة جديدة نسبياً مستخدمة حالياً تسمى التبطين العكسى (Inversion Lining) فى التبطين العكسى لا تكون هناك حاجة لحفر خط الخدمة. مادة البطانة المرنة التى تمتد لتتطابق مع الشكل الهندسى للماسورة يتم تصلبها وعلاجها بالحرارة. يمكن استخدام تجهيزة قطع خاصة مع دائرة مقفلة لكاميرا تليفزيونية لتجديد مكان وإعادة فتح وصلات الخدمة. يتم بناء البطانة خلال ماسورة موضوعة فى المطبق مع استخدام ضغط الهواء أو الماء لدفعها خلال الماسورة. عند وضع البطانة فى مكانها يتم تسخين الهواء أو الماء لبدء عملية التجمد والتصلب.



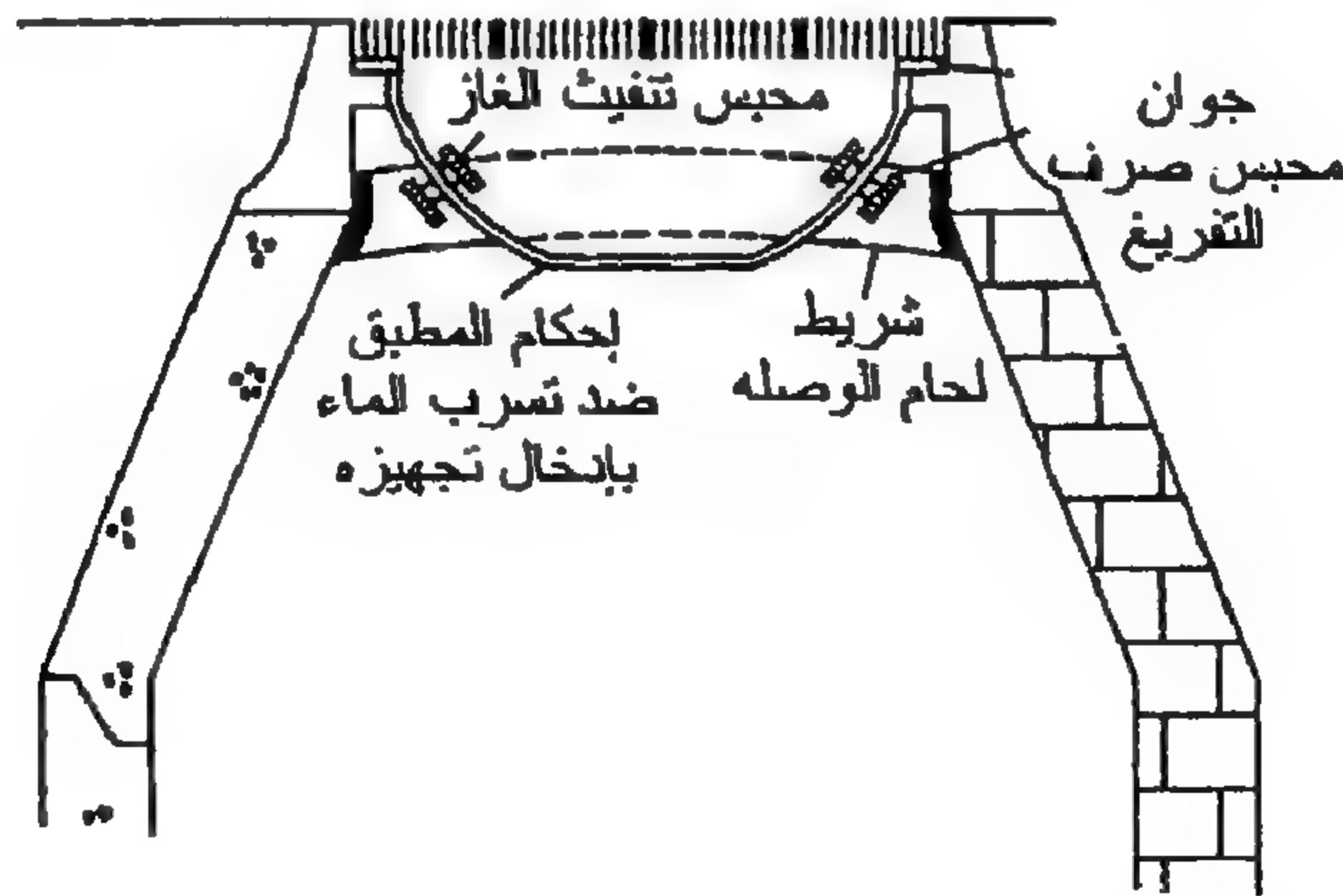
شكل (٥/٢٥) التبطين بالانزلاق هو أحد الطرق المستخدمة في إصلاح تشققات خطوط المواسير

المطابق ووصلات الخدمة : Manholes and Service Connections

المطابق عادة تحتاج إلى الإصلاح وذلك لعدم السماح بتدفق المياه السطحية بداخلها أو دخول المياه الجوفية. التدفقات السطحية يمكن أن تدخل إلى المطبق خلال الثقوب في الغطاء، أو خلال الفواصل بين الغطاء والإطار، وأسفل الإطار نفسه في حالة عدم إحكامه مع جسم المطبق. يمكن إعادة إحكام التصاق الإطارات باستخدام طبقة تغطية من الأيبوكسي المقاوم للماء.

أحيانا تستخدم طريقة مؤثرة لخفض التدفقات وهي برفع الإطار والغطاء بإضافة حلقة ضبط إضافية للمطبق ولزيادة الارتفاع وكذلك بتغطية الجزء المعرض بالأسمنت أو الأسفلت. طريقة أخرى وهي بإنشاء تجهيزة خاصة (Spechial Insert) بين الإطار والغطاء.

الشكل (٥/٢٦) يوضح التجهيزة الخاصة والتي تمنع دخول المياه والرمال من دخول المطبق، ولكن تسمح بتسرب الغازات خلال فتحات تصريف (Relief Vents).



شكل (٥/٢٦) تجهيزة يتم إدخالها أسفل غطاء المطبق لمنع دخول المياه السطحية إلى الشبكة.

المطابق الخرسانية هي كذلك معرضة للتآكل بفعل حامض الكبريتيك ولذلك فإنها أحياناً تحتاج إلى عمليات صيانة. كثير من التلف يتم عادةً علاجه بالحفر واستبدال المطبق مع عمل الإجراءات لمنع حدوث مسببات التلف. الصيانة الإنشائية للمطابق ذات التلف الغير حاد تتطلب أولاً الإزالة للمادة التالفة، باستخدام الماء أو الرمال أو الأدوات الميكانيكية. المادة المتبقية يتم عندئذ تثبيتها باستخدام مستحضرات كيماوية خاصة، واستخدام مونة عالية الأسمنت لملء التموجات السطحية ثم عمل البطانة أو التغطية.

أحد أهم مشاكل الصيانة للمطابق هي تسرب المياه الجوفية خلال الحوائط الجانبية والأرضيات وحول مداخل الماسورة. يمكن استخدام التحشية باستخدام المواد الكيماوية لحل هذه المشكلة.

الفصل السادس

معالجة وإعادة استخدام مياه الصرف الصحي

مقدمة :

الصرف الصحي الخام الغير معالج معظمه من الماء حيث يحتوى على حوالى ٩٩,٩% من الماء، ٠,١% فقط من الملوثات. بمعنى آخر لتر واحد (واحد كيلوجرام) من مياه الصرف عند اختبارها فإن المتبقى فقط هو واحد جرام من المواد الصلبة. بالمقارنة، فإن مياه البحر تحتوى فقط على ٩٥,٥% ماء نقي حيث تحتوى على ٣,٥% من المخلفات المذابة. رغم أن مياه البحر تحتوى على ملوثات أكثر من مياه الصرف الصحي إلا أننا لا نعتبر مياه البحر أنها ملوثة. الفرق الهام هو ليس التركيز الكلى ولكن نوع الملوثات، الملوثات فى مياه البحر معظمها أملاح غير عضوية، ولكن يحتمل أن تحتوى على كائنات جرثومية مسببة للأمراض.

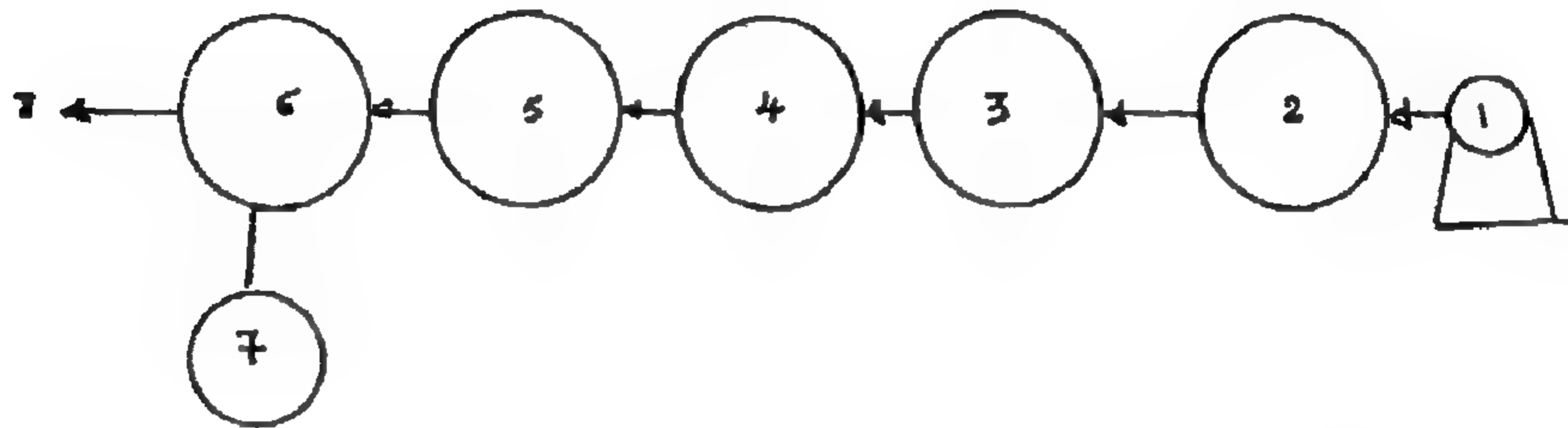
فى الواقع، مياه الصرف الصحي يمكن أن تحتوى على كثير من المواد المختلفة سواء عالقة أو مذابة، والتي يصعب التعرف على كل منها أو التعرف على الكائنات الحية الصغيرة. إجمالى كمية المواد العضوية مرتبط بتركيز مياه الصرف الصحي. وهذه يتم قياسها بواسطة الأكسجين الحيوى (Biochemical Oxygen - Demand - BOD). عامل آخر متعلق بالصرف الصحي وهو كمية المواد الصلبة العالقة (total Suspended Solids - TSS). فى المتوسط مياه الصرف الصحي الغير معالج له قيمة أكسجين حيوى (BOD) حوالى ٢٠٠ ملجرام/لتر، مواد صلبة عالقة (TSS) حوالى ٢٤٠ ملجرام/لتر. مياه الصرف الصناعى يمكن أن تحتوى على قيم أعلا لكل من الأكسجين الحيوى والمواد الصلبة العالقة مقارنة بمياه الصرف الصحي.

مجموعة أخرى من الملوثات فى مياه الصرف الصحي وهى مواد الغذاء للنبات، وتحديدًا مركبات النيتروجين والفوسفور. فى المتوسط مياه الصرف الخام تحتوى على حوالى ٣٥ ملجرام/لتر من النيتروجين، ١٠ ملجرام/لتر من الفوسفور. أخيراً فإن كمية الكائنات الدقيقة الممرضة فى مياه الصرف يتوقع أن تتناسب مع تركيز بكتريا الكوليفورم. تركيز الكوليفورم وكذلك الأكسجين الحيوى والمواد الصلبة العالقة والنيتروجين والفوسفور هى معايير نوعية المياه، والتي تم مناقشتها فى الفصل الخاص بنوعية المياه.

قبل التخلص من مياه الصرف الصحي فى المجال البيئى أو الدورة الهيدرولوجية الطبيعية، يكون من الضرورى عمل بعض المعالجات لحماية الصحة العامة ونوعية البيئة.

الغرض الرئيسى من معالجة الصرف الصحى تدمير الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض وإزالة معظم المواد العالقة والعضوية المذابة القابلة للتحلل البيولوجى. أحياناً يكون من الضرورى إزالة غذاء النبات من مركبات النيتروجين والفوسفور. التطهير بالكلور يمكن أن يدمر الكائنات الممرضة. إزالة المواد العضوية ومواد الغذاء للنبات يساعد على حماية البيئة المائية.

طرق المعالجة تتضمن ثلاث عمليات وهى المعالجة الأولية، المعالجة الثانوية أو البيولوجية ثم المعالجة الثلاثية أو المتقدمة. مخطط عمليات معالجة الصرف الصحى فى الشكل (٦/١) يوضح مراحل المعالجة للصرف الصحى الخام.



١- مضخة رفع مياه الصرف من البئارة

٢- المصافى ٣- حوض حجز الرمال

٤- حوض الترسيب الأولي

٥- المعالجة البيولوجية ٦- حوض الترسيب النهائى

٧- مياه الصرف المعالجة ٨- الحماية

٩- التخلص من مياه الصرف المعالج

شكل (٦/١) مخطط لعمليات معالجة الصرف الصحى

حدود المعالجة لمياه الصرف الصحى :

المعايير	أقصى تركيز
الحمل العضوى BOD ₅	٣٠ ملجرام/لتر
المواد الصلبة العالقة	٣٠ ملجرام/لتر
الرقم الهيدروجينى PH	٩ - ٦
الكلوريفورم الغائطى	٢٠٠ لكل ١٠٠ سم ^٣

معالجة وإعادة استخدام مياه الصرف الصحي

كما يلزم أحيانا التطهير بالكلور لقتل الكائنات الممرضة، وكذلك المعالجة لإزالة النيتروجين والفوسفور للمحافظة على البيئة المائية.
كفاءة المعالجة :

يمكن تعريف كفاءة المعالجة بأنها النسبة ما بين الملوثات التي أزيلت إلى الملوثات المتبقية في مياه الصرف. في الشكل الرياضي تكون كالاتى :

$$\text{الكفاءة} = \frac{\text{تركيز الملوثات في لصرف الخام} - \text{التركيز في المياه لمعالجة}}{100 \times \text{التركيز في المياه الخام}}$$

مثال :

صرف صحى خام له قيمة (BOD₅) ٢٠٠ ملجرام/لتر. ما هو أقصى تركيز لـ (BOD₅) بعد المعالجة، إذا كانت كفاءة محطة المعالجة ٨٥%، وإذا كان معدل التدفق ٥ مليون جالون فى اليوم كم عدد أرطال BOD سيتم صرفها فى اليوم.
الحل :

باستخدام المعادلة السابقة :

$$100 \times \frac{200 - \text{التركيز في المياه المعالجة (C)}}{200} = 85$$
$$\therefore C - 200 = \frac{200 \times 85}{100}$$

تركيز BOD فى المياه المعالجة (C) = ٢٠٠ - ١٧٠ = ٣٠ ملجرام/لتر.

رطل فى اليوم = ٨,٣٤ × Q × C

= ٨,٣٤ × ٥ مليون جالون فى اليوم × ٣٠ جزء فى المليون.

= ١٣٠٠ رطل فى اليوم.

مثال :

مياه صرف صحى خام بها مواد صلبة عالقة ٢٥٠ ملجرام/لتر. إذا كان متوسط المواد الصلبة العالقة فى المياه المعالجة هو ٢٠ ملجرام/لتر. ما هى كفاءة الإزالة للمواد

الصلبة العالقة. إذا كان معدل التدفق ٥ مليون لتر في اليوم، ما هو عدد الكيلوجرامات من المواد الصلبة العالقة التي يتم صرفها من محطة الصرف الصحي يوميا.

الحل :

$$\text{الكفاءة} = \frac{20 - 250}{250} \times 100 = 92\%$$

عدد الكيلوجرام في اليوم من المواد الصلبة

$$= 5 \text{ مليون لتر / اليوم} \times 20 \text{ ملجرام / لتر} = 100 \text{ كيلوجرام.}$$

٢- المعالجة المسبقة لمياه الصرف الصناعي

Pretreatment of industrial Waste Water

مياه الصرف الصحي تأتي من مصادر مختلفة بما فيها مياه صرف المصانع، مياه صرف المصانع عادة تحتوي على كيماويات سامة مثل السيانييد من عمليات الطلاء المعدني والرصاص من مصانع إنتاج البطاريات. تحدث مشاكل كثيرة عند صرف مخلفات الصرف الصناعي إلى محطات معالجة الصرف الصحي.

التمرير بدون معالجة: المواد السامة الغير قابلة للتحلل البيولوجي يمكن أن تمر خلال محطة المعالجة، مسببة التلوث للماء، هذا التلوث يسبب خطورة على الأحياء المائية ومن خلال السلسلة الغذائية حيث تنقل مخاطر الأمراض إلى الإنسان.

التداخل : مخلفات الصرف الصناعي السامة قد تتداخل مع عملية المعالجة لمياه الصرف الصحي وخاصة تلك العمليات التي تستخدم البكتريا لتثبيت المواد العضوية في مياه الصرف.

التلوث : المخلفات الصناعية ذات المستوى العالي من المعادن السامة أو المواد العضوية يمكن أن تلوث حماة الصرف الصحي وبذا تقلل من بدائل التخلص من الحمأة حيث ترتفع تكاليف التخلص.

التآكل: مياه الصرف الصناعي يمكن أن تسبب التآكل والتلف للمواسير والمعدات في شبكات تجميع الصرف ومحطات المعالجة.

الخطورة: بعض المخلفات الصناعية شديدة التبخر ويمكن أن تسبب حدوث الانفجار. مخلفات أخرى يمكن أن تنتج غازات سامة، بما يشكل خطورة على العاملين في محطة المعالجة والقريبين منها.

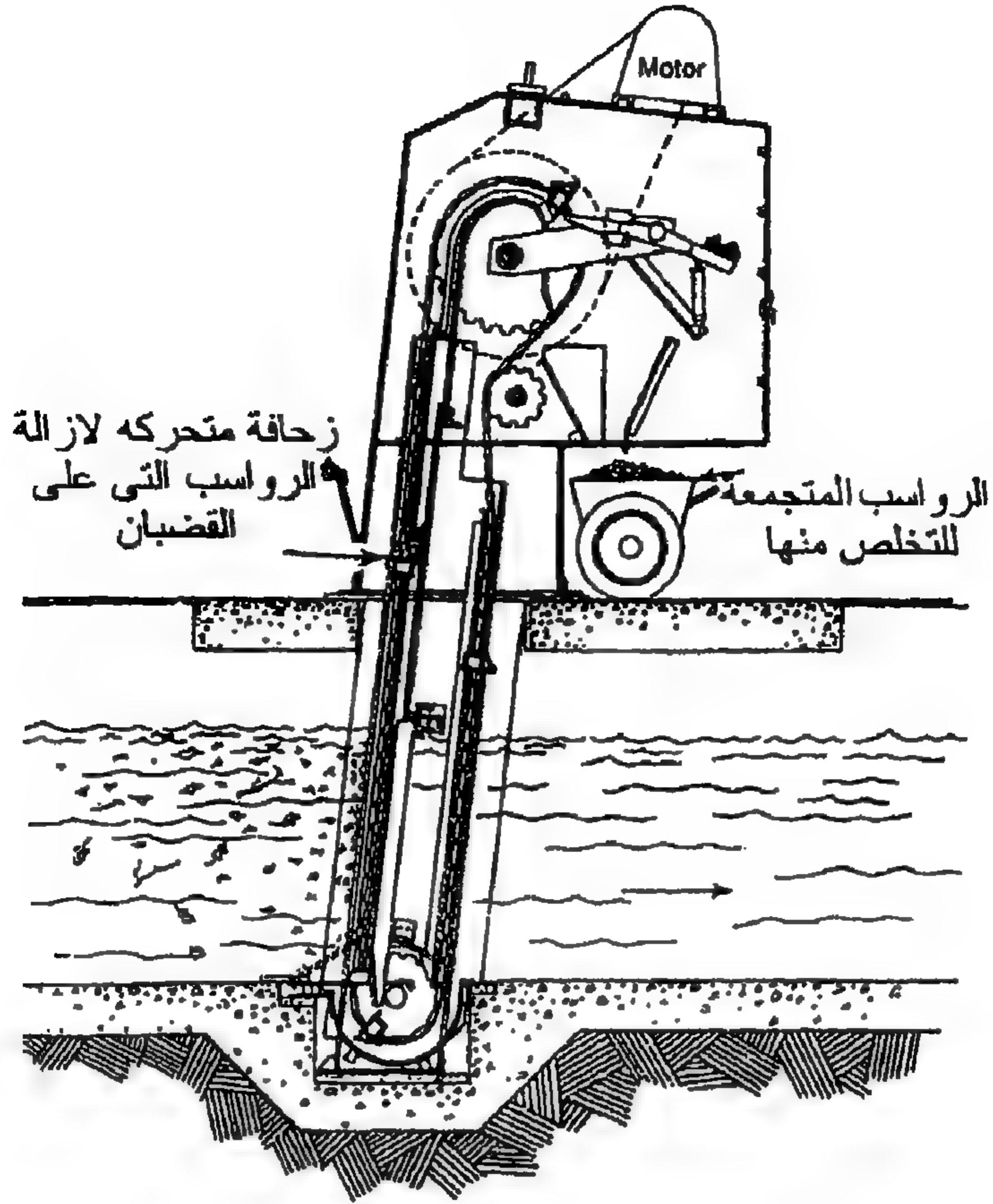
هذه المشاكل يمكن تجنبها بالمعالجة المسبقة لمياه الصرف الصناعي في موقع الإنتاج قبل صرفها على شبكة الصرف الصحي.

ولذلك فقد أصدرت الهيئات المسئولة عن حماية البيئة المعايير لمياه الصرف الصناعي المقرر صرفها على المسطحات المائية أو في شبكة الصرف الصحي لتجنب مخاطرها في الحالتين، وذلك من خلال بعض المعالجات المسبقة أو النهائية.

٢- المعالجة الأولية Preliminary and Primary Treatment

مياه الصرف الخام الغير معالجة عادة تتدفق بالجاذبية من خطوط مواسير الصرف الصحي إلى محطة المعالجة، وأحياناً يتم ضخ مياه الصرف إلى محطة المعالجة. مكونات محطة المعالجة تشمل قياس التدفق بواسطة (Parshall Flume) وتجهيزات ميكانيكية مثل المصافي، وأجهزة التقطيع، وأحواض إزالة الرمال.

أول مراحل المعالجة لمياه الصرف الخام هي المصافي ذات الفتحات الواسعة، وهذه تسمى مصافي القضبان المصنوعة من قضبان معدنية طويلة ذات فواصل ضيقة حوالي ٢٥ ملليمتر. وهذه تحجز الأعشاب الطافية والأخشاب.. الخ، وكذلك الأغراض الضخمة التي يمكن أن تسبب الانسداد للمواسير أو إحداث التلف للمعدة الميكانيكية في باقى المحطة. فى معظم محطات معالجة الصرف الصحي الكبيرة يتم تنظيف مصافي القضبان ميكانيكياً بتجهيزات ميكانيكية كما هو موضح فى الشكل (٦/٢). الأعشاب والمخلفات التى يتم تجميعها على المصفاة يتم التخلص منها عادة بالدفن فى التربة، فى بعض محطات المعالجة يتم إنشاء جهاز التقطيع للكتل الضخمة، والذى يتكون من مصفاة مستديرة مثبتة مع سكاكين قطع دوارة، حيث يقوم بتقطيع الأجسام التى مرت خلال المصفاة. المواد التى يتم تقطيعها تزال من مياه الصرف بالترسيب أو الطفو فى محطة المعالجة. فى محطات المعالجة الصغيرة عادة يتم وضع المصفاة ذات التنظيف اليدوى فى قناة بعد جهاز التقطيع للعمل كمر جانبى للطوارئ وذلك عند الحاجة إلى إصلاح جهاز التقطيع.



شكل (٦/٢) مصفاة القضبان

حجز الرمال : Grit Removal

جزء من المواد الصلبة العالقة في مياه الصرف الخام يتكون من مواد رملية ومواد صلبة أخرى خاملة. ولذلك فإن عملية حجز الرمال والمواد الصلبة يتم بعد استخدام المصافي و/أو أجهزة التقطيع لحماية الطلمبات والمعدات الأخرى في المحطة من التلف بفعل البرى والبلى بهذه المواد الصلبة. في شبكة مواسير الصرف الصحي، تكون سرعة التدفق لمياه الصرف حوالي ٦٠ سم/ث وهذه تسمى سرعة التنظيف الذاتي. كثير من المواد الرملية الصلبة يمكن أن ترسب بالجاذبية وذلك في حالة خفض سرعة التدفق إلى ٣٠ سم/ث. رغم أن الرمال سترسب عند هذه السرعة المنخفضة إلا أن المواد الصلبة العضوية الأقل في الكثافة سيتم حملها إلى مرحلة المعالجة التالية.

في حوض حجز الرمال يكون زمن المكث (Detention Time) دقيقة واحدة وقد يجهز بهدار لحجز الأجسام الطافية والتخلص منها وكذلك يمكن أن يتم تغذيته بالهواء

المضغوط للمساعدة في طفو الأجسام العالقة. وأحواض حجز الرمال عادة تكون طويلة وضيقة تسمى (Grit Chambers). سرعة التدفق في الحوض يمكن أن تكون ٣٠ سم/ث باستخدام هدار مخرج ذو شكل معين. تستخدم لإزالة الرمال من الحوض أجهزة تجميع ميكانيكية من قوادر أو من السلاسل المستمرة حيث يتم التخلص من الرمال بالدفن في التربة. في حالة استخدام الهواء في حوض حجز الرمال فإن فقاعات الهواء تساعد في أن تظل المواد الصلبة العضوية عالقة بينما ترسب الرمال إلى القاع.

الترسيب الأولي : (Primary Sedimentation)

بعد حوض حجز الرمال، تظل مياه الصرف محتوية على مواد صلبة عضوية عالقة والتي يمكن إزالتها بالترسيب الحر. أحواض الترسيب الأولي يكون زمن المكث فيها من ١ - ٢ ساعة. الأحواض يمكن أن تكون دائرية أو مستطيلة. بالإضافة إلى جهاز جمع الحماة الميكانيكي الذي يقوم بكشط المواد الصلبة المترسبة على القاع ورفعها على قمع تجميع الحماة للتخلص النهائي، فإنه يمكن استخدام تجهيزة كشط سطحية لإزالة الشحوم وأي مواد طافية أخرى من سطح السائل. أحيانا يمكن إضافة الكيماويات لإزالة الأجسام الغروية الصغيرة (Colloidal).

هذه المعالجة الأولية (المصافي وأحواض حجز الرمال) يمكن أن تزيل حتى ٦٠% من المواد الصلبة العالقة، وحتى ٣٥% من الحمل العضوي (BOD) من مياه الصرف. ولذلك فإن مياه الصرف يجب أن يتم لها المعالجة الثانوية (Secondary Treatment)، والمعالجة الثلاثية طبقاً للموقف.

٣- المعالجة الثانوية (أو البيولوجية) :

عمليات المعالجة الأولية تزيل فقط تلك الملوثات التي تطفو أو ترسب بالجاذبية، ولكن يظل حوالي نصف حمل الملوث الخام في مياه الصرف بعد المعالجة الأولية. والغرض من المعالجة الثانوية هو إزالة المواد الصلبة العالقة التي لم ترسب بالجاذبية في أحواض الترسيب الأولي وكذلك الحمل العضوي المذاب (BOD) الذي لم يتأثر بالمعالجة الأولية الطبيعية. تعتبر المعالجة الثانوية عموماً أنها تعني إزالة ٨٥% من الحمل العضوي (BOD) أي من الأكسجين الحيوي المطلوب والإزالة الإجمالية للمواد الصلبة العالقة وهذه تمثل أدنى درجة من المعالجة المطلوبة في معظم الحالات. والمعالجة الثانوية هي غالباً معالجة بيولوجية، حيث المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي تتضمن استخدام

الكائنات الحية الدقيقة. هذه الكائنات الدقيقة (الميكروبات) شاملة البكتريا والبروتوزوا تستهلك الملوثات العضوية كغذاء. عملية الأيض (Metabolizm) (والتي تعنى تحويل الغذاء والطاقة إلى خلايا حية) التي تقوم بها الكائنات الدقيقة هي بإيض المواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجي (Biodegradable) وتحويلها إلى ثاني أكسيد الكربون والماء والطاقة وذلك لنموها وتكاثرها. هذه العملية الهوائية الطبيعية تحتاج إلى الأكسجين.

نظام المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي يجب أن يوفر الكائنات الحية الدقيقة مع إيواء مريح. ذلك لأن محطة المعالجة تمكن الميكروبات من تثبيت الملوثات العضوية في بيئة صناعية محكمة من الصلب أو الخرسانة، وليس في بحيرة أو في مجرى مائي. هذا يساعد على حماية اتران الأكسجين المذاب في البيئة الطبيعية للكائنات المائية.

للمحافظة على الأداء الجيد للميكروبات ونموها وتكاثرها في معالجة مياه الصرف الصحي فإنه يلزم إمدادها بالأكسجين الكافي، والالتصاق الجيد مع المادة العضوية في مياه الصرف، ودرجة الحرارة المناسبة، وظروف أخرى جيدة. تصميم وتشغيل محطة المعالجة الثنائية يجب أن يراعى هذه العوامل.

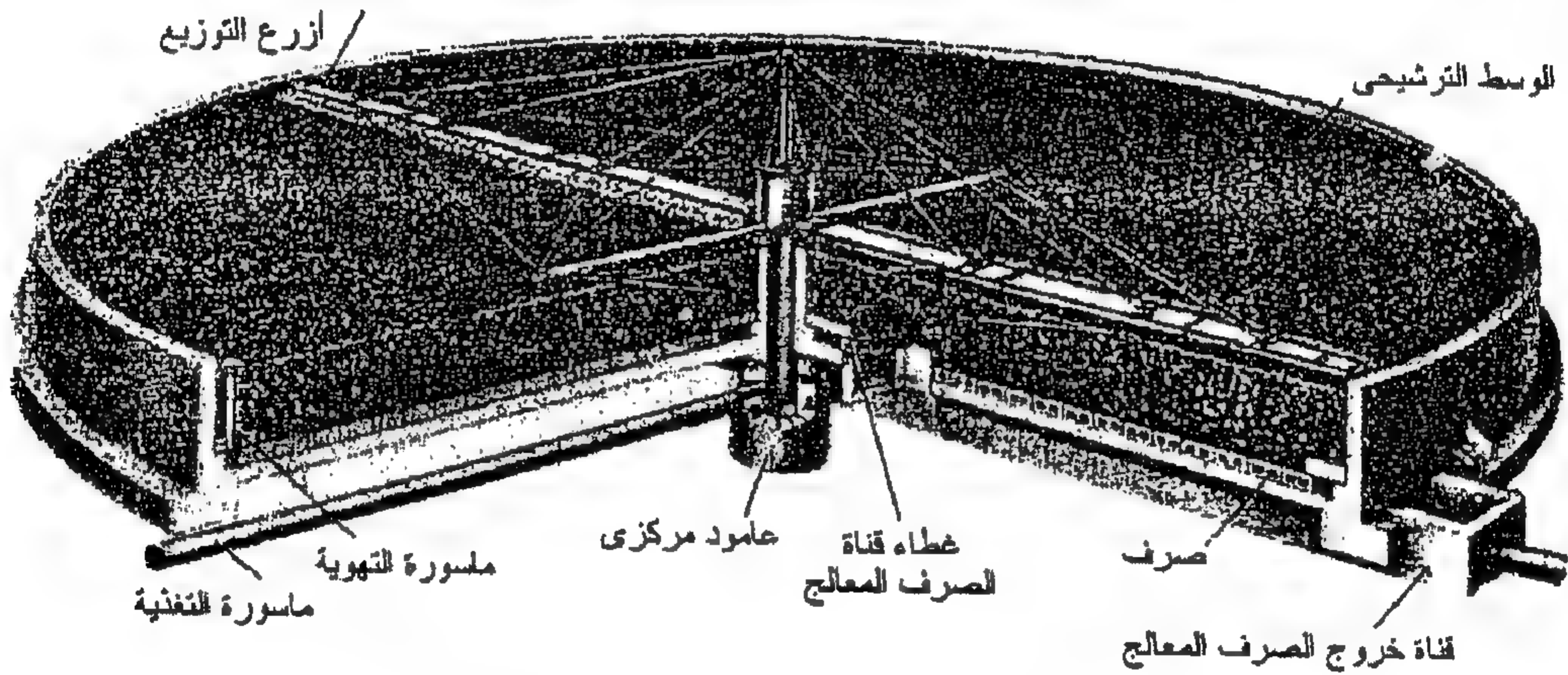
من بين نظم المعالجة البيولوجية المستخدمة عادة هي عملية المعالجة بالمرشحات الزلطية (Trickling Filters)، وعملية المعالجة بالحماة المنشطة (Activated Sludge). المرشح الزلطي هو نظام النمو الثابت: الميكروبات تظل ثابتة أو ملتصقة على السطح بينما تتدفق المياه فوق هذا السطح (زلط أو ركام أو أشكال البلاستيك الحبيبية كوسط ترشيحي). وذلك لتوفير الالتصاق مع المواد العضوية، الحماة المنشطة تتصف بأنها نظام النمو العالق، ذلك لأن الميكروبات يتم خلطها جيداً وتظل عالقة في مياه الصرف الصحي وليست ملتصقة على السطح الحبيبي.

المرشحات الزلطية : (Trickling Filters)

يتكون المرشح الزلطي أساساً من طبقة من قطع الأحجار بعمق ٢متر. وهو عادة مستدير الشكل ويمكن أن يصل قطره إلى ٦٠متر. المرشحات الزلطية دائماً تسبقها المعالجة الأولية لإزالة المواد الصلبة كبيرة الحجم والقابلة للتسرب. السائل بعد المعالجة الأولية يتم رشه على سطح قطع الأحجار حيث يسرى إلى أسفل خلال طبقة قطع الأحجار إلى نظام الصرف السفلي.

ذراع الموزع الدوار بفتحات ضيقة (Nozzles) على طول الذراع يستخدم عادة لرش مياه الصرف، رغم أنه أحياناً تستخدم نافورات (Nozzles) ثابتة. الذراع الدوار للموزع المزود بالفتحات الضيقة يركب على عمود مركزي في المرشح الزلطي، يتم تدويره بقوة رد الفعل أو أداء البثق (Jet Action) لمياه الصرف الصحي التي تتدفق خلال الفتحات الضيقة.

نظام الصرف السفلي يعمل على تجميع وحمل مياه الصرف من قاع الطبقة وكذلك تسمح بتدوير الهواء إلى أعلى خلال القطع الحجرية. طبقاً لطبوغرافية محطة المعالجة فإن مياه الصرف تتدفق من حوض الترسيب الأولى إلى المرشح الزلطي بالجاذبية وليس بالضخ. مقطع في وحدة المرشح الزلطي موضح في الشكل (٦/٣).



شكل (٦/٣) مقطع في المرشح الزلطي

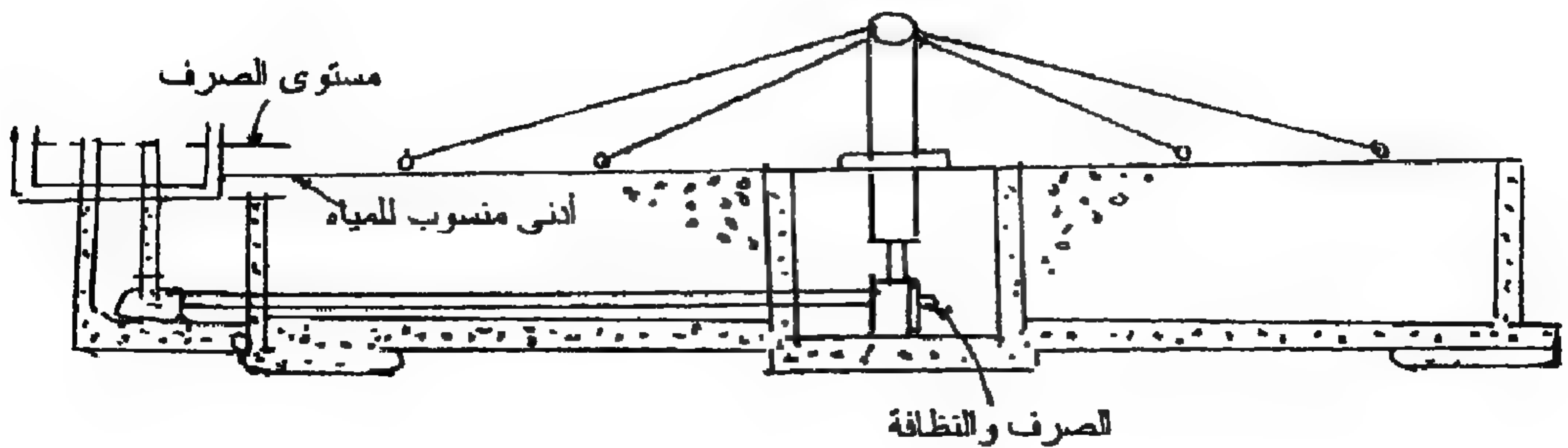
مع سريان السائل الأولى إلى أسفل خلال طبقة القطع الحجرية، فإنه تتكون طبقة عضوية بيولوجية (Slime) من الميكروبات على أسطح القطع الحجرية. استمرار التدفق لمياه الصرف فوق النمو البيولوجي الثابت هذا يوفر الالتصاق المطلوب بين الميكروبات والمواد العضوية. الميكروبات في الطبقة الرقيقة العضوية تمتص المواد العضوية المذابة، وبذا تزال المواد التي تحتاج إلى الأكسجين من مياه الصرف. دوران الهواء خلال الفراغات في طبقة القطع الحجرية يوفر الأكسجين المطلوب لتثبيت المواد العضوية بالميكروبات. ولكن يجب ملاحظة أن المرشح الزلطي ليس مرشحاً على الإطلاق، بمعنى الكلمة. القطع الحجرية هي عادة بقطر ٧٥ ملليمتر، أكبر بكثير من أن تحتجز أو أن ترشح المواد الصلبة العالقة. وكذلك ليس لها تأثير على المواد الصلبة المذابة. القطع الحجرية

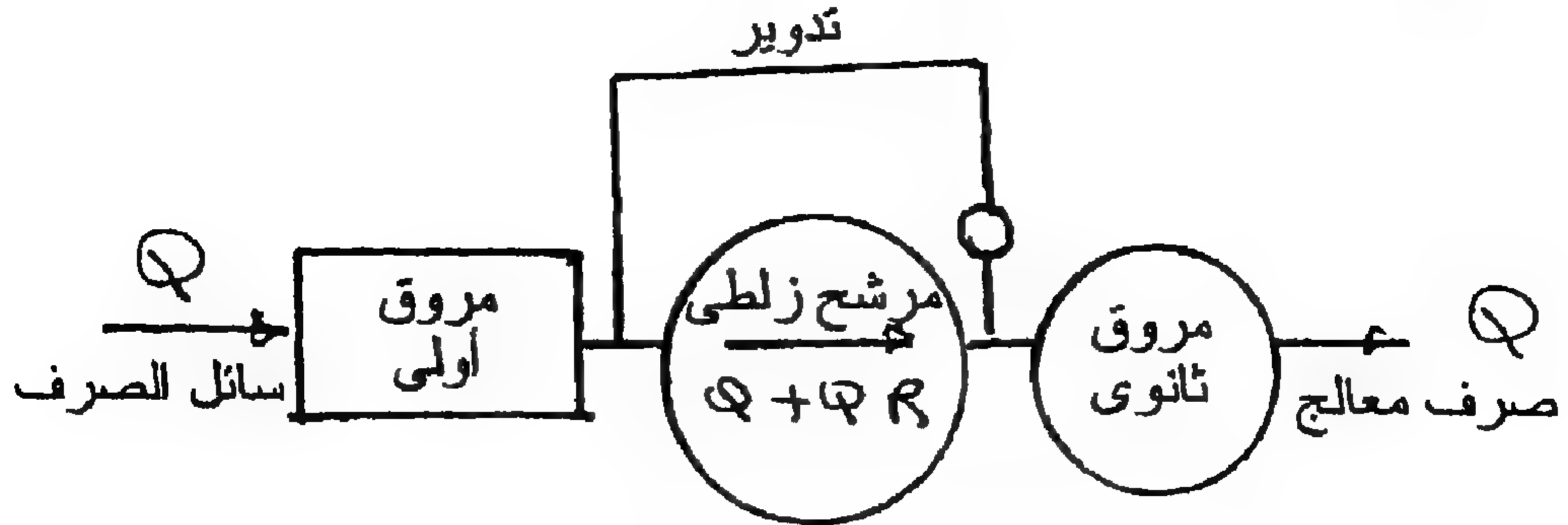
فى المرشح الزلطى تعمل فقط فى توفير كمية كبيرة من المساحة السطحية للنمو البيولوجى والمسام الكبيرة (الفراغات) بين القطع الحجرية توفر التدوير للهواء. أحيانا، تستخدم مواد بخلاف القطع الحجرية مثل القطع من البلاستيك المعرج أو (Red Wood salts) لتوفير المساحة السطحية المطلوبة والمساحات الفراغية، ولكن الغرض الرئيسى والاستخدام يظل كما هو.

مع نمو الكائنات الحية الدقيقة وتكاثرها فإن الطبقة الهلامية العضوية (Slime Layer) يزداد سمكها لدرجة أن تدفقات مياه الصرف تدفعها بعيدا عن أسطح القطع الحجرية، وهذا يسمى الحمأة (Sloughing). نظرا لأن الحمأة لا تحدث دوريا، فإنه توجد الحاجة لتوفير زمن ترسيب للسائل الخارج من المرشح الزلطى وذلك لإزالة الأجسام البيولوجية العالقة بالسائل الساقط. هذه المواد الصلبة تتكون أساسا من بلايين الكائنات الحية الدقيقة التى امتصت المواد العضوية المذابة فى أجسامها. السائل الخارج والساقط من طبقة القطع الزلطية يتم تجميعه فى نظام الصرف السفلى ثم يتم إرساله إلى حوض ترسيب يسمى المروق الثانى، وهو يشبه المروق الأولى، رغم وجود فرق فى زمن المكث، معدل التدفق، تحميل الهدار (weir loading) وتفاصيل أخرى.

لاستمرار المعدل الثابت للتدفق خلال المرشح الزلطى ولاستمرار ذراع الموزع فى الدوران حتى أثناء فترات التدفقات المنخفضة لمياه الصرف، فإن بعض من مياه الصرف يمكن إعادة تدويره. بمعنى آخر، جزء من المياه الخارجة من المرشح يتم ضخها ثانيا إلى مدخل المرشح الزلطى بحيث تمر خلال طبقة القطع الحجرية للمرشح أكثر من مرة.

التدوير يمكن أن يساعد فى تحسين كفاءة إزالة الملوثات، حيث تسمح للكائنات الدقيقة فى إزالة المواد العضوية التى تدفقت معها خلال المرور السابق خلال الطبقة. يوجد كثيرا من نظم التدوير وإعادة التدوير وأشكال محطات المرشحات الزلطية، أحد هذه الأشكال موضح فى الشكل (٦/٤).





شكل (٦/٤ ب) مخطط يوضح تدوير التدفق خلال المرشح الزلطى، معدل تدفق الصرف يساوى مجموع تدفق الصرف الخام زائد تدفقات التدوير

تكرار التدوير : (Recalculation)

كمية التدوير تختلف وهى تتصف بنسبة التدوير، والتى هى النسبة بين التدفق الذى يتم تدويره وتدفقات مياه الصرف الخام. ويعبر عنه بالمعادلة الآتية :

$$R = \frac{Q_R}{Q}$$

حيث :

R = نسبة التدوير.

Q_R = معدل تدفق سائل التدوير.

Q = معدل تدفق سائل الصرف الصحي الخام.

نسبة التدوير R ، هى عموماً فى المجال ما بين صفر إلى ٣.

الحمل الهيدروليكي : Hydraulic Load

المعدل الذى تتدفق به مياه الصرف الصحي على سطح المرشح الزلطى يسمى الحمل العضوى. الحمل العضوى يشمل التدفق المعاد تدويره (Q_R)، التدفق الكلى خلال المرشح الزلطى يساوى $Q + Q_R$ وفى شكل معادلة يكون الحمل العضوى كالاتى :

$$\frac{Q_R + Q}{A_s} = \text{الحمل العضوى}$$

حيث :

$Q =$ معدل تدفق مياه الصرف الصحي الخام.

$Q_R =$ معدل تدفق سائل إعادة التدوير.

$As =$ المساحة السطحية للمرشح الزلطي (مسقط رأسي).

يمكن التعبير عن الحمل الهيدروليكي بالمتري المكعب/ اليوم/ المتر المربع من المساحة السطحية أو م³/ م²/ اليوم. كما يمكن التعبير عنه بالمليون جالون/فدان، القيمة النموذجية للمرشح الزلطي التقليدي هي ٢٠ م³/ م²/ اليوم (١٩ مليون جالون/ الفدان/ اليوم).

الحمل العضوي (BOD) : Organic Load

المعدل الذي يتم به دخول المادة العضوية إلى المرشح الزلطي تسمى الحمل العضوي أو حمل الأكسجين الحيوي المطلوب (BOD). وهو لا يشمل الحمل العضوي المضاف بالتدوير. يعبر عن الحمل العضوي بالكيلو من (BOD) على المتر المكعب من حجم طبقة الترشيح في اليوم أو كيلوجرام/ المتر المكعب/ اليوم. ويمكن كذلك التعبير عنه بالرطل من (BOD) على ألف قدم مكعب من حجم الطبقة على اليوم. القيمة المثالية للحمل العضوي على المرشح الزلطي هي ٠,٥ كجرام/ م³/ اليوم. أو ٣٠ رطل/ ١٠٠٠ قدم مكعب/ اليوم. يمكن التعبير عن الحمل العضوي بالمعادلة الآتية:

$$\text{الحمل العضوي} = \frac{Q \times BOD}{V} \text{ بالوحدات المترية}$$

$$= \frac{BOD \times Q}{V} \times 8.34 \text{ وحدات أمريكية}$$

مثال :

مرشح زلطي بعمق ٢ متر بقطر ١٨ متر يعمل بنسبة تدوير ١,٥. معدل التدفق لمياه الصرف الصحي هو ٢,٥ مليون لتر/ اليوم، الحمل العضوي (BOD) لمياه الصرف الصحي الخام هو ٢١٠ ملجرام/لتر. بفرض أن نسبة الإزالة من الحمل العضوي لحوض الترسيب الأولى هي ٣٠%، أحسب الحمل الهيدروليكي والحمل العضوي على المرشح الزلطي :

الحل :

أولاً، احسب المساحة السطحية للمرشح الزلطى :

$$As = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times 18^2}{4} = 254,5 \text{ متراً مربعاً}$$

حيث أن الحجم = المساحة × العمق.

∴ الحجم = $254,5 \text{ م}^2 \times 2 \text{ متر} = 509 \text{ متر مكعب}$.

، $Q \times R = Q_R = 1,5 \times 2,5 = 3,75$ مليون لتر/ اليوم.

كذلك $Q + Q_R = 2,5 + 3,75 = 6,25$ مليون لتر/ اليوم.

= 6250 متر مكعب/ اليوم

$$\therefore \text{الحمل الهيدروليكي} = \frac{6250}{254,5} = 25 \text{ م}^3/\text{م}^2/\text{اليوم}$$

سائل الصرف الصحي بعد المعالجة الأولية يمكن حساب حملة العضوى (BOD)

بالآتى :

$$30 = 100 \times \frac{P - 210}{210}$$

$$\therefore P = \frac{30 \times 210}{100} = 63 \text{ جزء فى المليون}$$

$$\therefore \text{الحمل العضوى} = \frac{63 \times 2,5}{0,9} = 175 \text{ كجرام/م}^3/\text{اليوم}$$

الكفاءة : Efficiency

كفاءة المرشح الزلطى فى إزالة الحمل العضوى تتوقف على الحمل العضوى، نسبة التدوير، درجة حرارة مياه الصرف. عموماً تزداد الكفاءة مع انخفاض الحمل العضوى، زيادة التدوير، وارتفاع درجة الحرارة. فمثلاً، مع نسبة التدوير ($R = \text{صفر}$)، ودرجة الحرارة 20°م ، فإن المرشح الزلطى ستكون كفاءته حوالى 60% عندما يكون الحمل العضوى حوالى $2 \text{ كجرام/م}^3/\text{اليوم}$. ولكن إذا كان الحمل العضوى $0,5 \text{ كجرام/م}^3/\text{اليوم}$ فى نفس ظروف التدوير ودرجة الحرارة، فإن الكفاءة تصبح 75%.

بالإضافة إلى ذلك فإنه عند حمل عضوى ٠,٥ كجم/م^٣/اليوم والتدوير $R = 1$ بدلاً من صفر فإن الكفاءة سترتفع لتكون ٨٠%. إذا زادت درجة الحرارة حتى ٢٢°م فإن الكفاءة سترتفع إلى ٨٥%. بسبب التأثير الواضح لدرجة الحرارة على الكفاءة فإن المرشحات الزلطية فى مناخ دول الشمال تكون عادة محاطة بقبة من الصوف الزجاجى لتوفير الحماية ضد الرياح والثلوج وخفض معدل الفقد الحرارى من مياه الصرف.

مثال :

كفاءة المرشح الزلطى لإزالة الحمل العضوى (BOD) هى ٧٩%، وكفاءة المعالجة الأولية التى تسبق المرشح الزلطى هى ٣٥%. إذا كان الحمل العضوى لمياه الصرف الخام هو ٢٠٠ ملجرام/لتر، ما هو الحمل العضوى للمياه المعالجة الخارجة من المرشح الزلطى؟ وهل محطة المعالجة توفر الكفاءة التى تتوافق مع المعالجة الثنائية.

الحل :

رغم أن المعالجة البيولوجية والترويق الثانى يوفر إزالة حمل عضوى ٧٠% فقط، فإنه يجب تذكر أن ٣٥% من الحمل العضوى الخام تم إزالته فى الترسيب الأولى. لذلك ٦٥% أو $٠,٦٥ \times ٢٠٠ = ١٣٠$ ملجرام/لتر تظل كحمل عضوى فى مياه الصرف بعد المعالجة الأولية.

ولكن ٧٩% من الحمل العضوى الداخلى إلى المرشح الزلطى يتم إزالته، تاركاً ٢١%، أو $٠,٢١ \times ١٣٠ = ٢٧$ ملجرام/لتر فى مياه الصرف الخارجة من المعالجة الثنائية. الكفاءة الكلية للوحدة هى لذلك تحسب كالتالى :

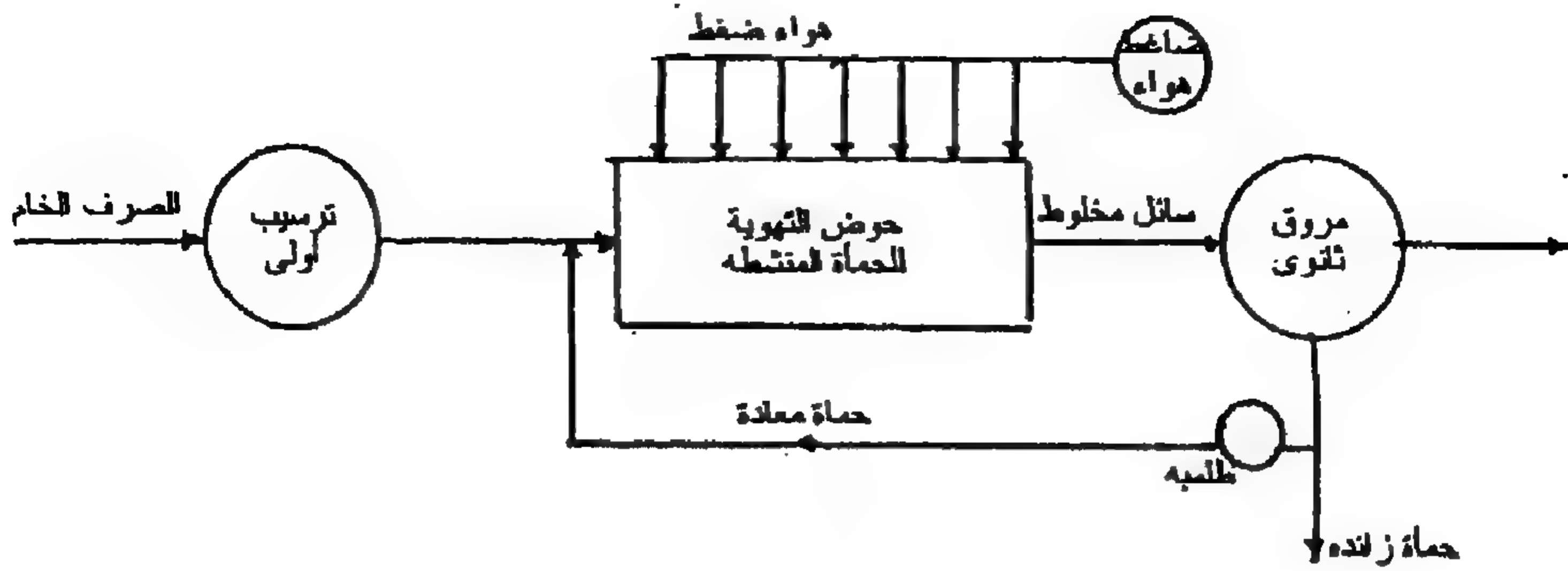
$$\text{الكفاءة} = ١٠٠ \times \frac{٢٧ - ٢٠٠}{٢٠٠} = ٨٧\%$$

وهذا أكبر من ٨٥%، لذلك فإن محطة المعالجة توفر المعالجة الثنائية.

المعالجة بالحماة النشطة : (Activated Sludge Treatment)

المكونات الأساسية لنظام معالجة مياه الصرف الصحى بالحماة المنشطة تشمل حوض التهوية وحوض الترسيب الثانى أو المرووق. يتم خلط المياه الخارجة من المعالجة الأولية مع الحماة المرسبة التى يتم تدويرها من المرووق الثانى ثم دخولها إلى حوض التهوية. يتم

حقن الهواء المضغوط باستمرار في المحلول خلال ناشرات مثقبة مركبة عند قاع الحوض على طول جانب واحد. هذا موضح في الشكل (٦/٥).



شكل (٦/٥) مخطط لمحطة حمأة منشطة تقليدية

في حوض التهوية تستهلك الكائنات الحية الدقيقة المواد العضوية المذابة كغذاء. الكائنات الدقيقة تمتص المواد العضوية هوائياً وتحللها باستخدام الأكسجين الذي يتوفر في الهواء المضغوط، الماء، ثاني أكسيد الكربون، حيث تتكون مركبات ثابتة أخرى. بالإضافة إلى توفير الأكسجين، فإن الهواء المضغوط يقوم بالخلط الجيد للكائنات الدقيقة مع مياه الصرف حيث يصعد إلى أعلى بسرعة في شكل فقاعات على السطح من الناشرات. أحياناً، تستخدم خلاطات ميكانيكية بدافعات موجودة على سطح السائل بدلاً من الهواء المضغوط والناشرات (Diffusers). أداء الخفض أو الحركة المضطربة لأذرع الدافعات تقوم بخلط الهواء مع مياه الصرف وتحافظ على محتويات الحوض في شكل عالق متجانس. الكائنات الحية الهوائية في حوض التهوية تنمو وتتكاثر، مكونة عالق نشط من المواد الصلبة البيولوجية التي تسمى الحمأة (Sludge). مجموع الحمأة المنشطة ومياه الصرف في حوض التهوية يسمى السائل المخلوط (Mixed Liquor). في النظام الأساسي للمعالجة بالحمأة النشطة، زمن المكث حوالي ٦ ساعات يكون مطلوباً للتثبيت الجيد لمعظم المواد العضوية في السائل المخلوط.

بعد حوالي ٦ ساعات من التهوية، فإن السائل المخلوط يتدفق إلى المروقي الثاني أو النهائي، حيث فيه ترسب المواد الصلبة من الحمأة العالقة بالجاذبية. المياه التي تم ترويقها والمياه الطافية قرب السطح والتي تسمى (Supernatant) يتم صرفها على مدار الخروج، والحمأة المرسبة يتم ضخها إلى الخارج من قادوس تجميع الحمأة عند قاع الحوض. تدوير جزء من الحمأة ثانياً إلى مدخل حوض التهوية هو من الخواص الأساسية لعملية المعالجة

هذه. الحماة المرسبة تكون في حالة نشطة. بمعنى أن الميكروبات متأقلمة جيداً مع مياه الصرف ومعدة الفرصة، لتمتص وتحلل مواد عضوية أكثر من خلال عملية الأيض لبناء خلايا جديدة (Metabolism).

عند ضخ حوالي ٣٠% من تدفقات مياه الصرف من قاع المروق إلى سطح حوض التهوية، فإن عملية الحماة المنشطة يمكن المحافظة عليها باستمرار. عند الخلط مع السائل الأولي فإن الكائنات الدقيقة الجوعى تبدأ سريعاً في الامتصاص وتؤيض (Metabolize) الغذاء الطازج في شكل المواد العضوية المسببة للحمل العضوى (BOD). نظراً لأن الميكروبات تتكاثر ويزداد عددها كثيراً، فإنه ليس من الممكن تدوير أو عودة كل الحماة إلى حوض التهوية. الحماة الزائدة تسمى المخلفات من الحماة المنشطة، يجب معالجتها والتخلص منها (مع الحماة من حوض الترسيب الأولي).

نسبة الغذاء إلى الكائنات الحية الصغيرة : F/M Ratio

العامل الهام المستخدم في تصميم وتشغيل عملية الحماة المنشطة يعرف بالنسبة بين الغذاء والكائنات الصغيرة (Food To Microorganism Ratio) يقاس الغذاء بالكيلوجرامات (أو الأرطال) المضافة من الحمل العضوى (BOD) إلى الحوض في اليوم. حيث أن المواد الصلبة العالقة في السائل المخلوط تتكون غالباً من الكائنات الدقيقة الحية، فإن تركيز المواد الصلبة العالقة يستخدم كقياس لكمية الكائنات الحية الدقيقة في الحوض. التركيز يسمى المواد الصلبة العالقة في السائل المخلوط (Mixed Liquor Suspended Solids) أو (MLSS).

نسبة الغذاء / الكائنات الدقيقة (F/M) هي مؤشر للحمل العضوى في النظام بالنسبة لكمية المواد الصلبة البيولوجية في الحوض. بالنسبة لأحواض التهوية التقليدية النسبة هي في المجال من ٠,٢ إلى ٠,٥ يمكن حسابها من المعادلة الآتية :

$$F / M = \frac{Q \times BOD}{MLSS \times V}$$

حيث :

F / M = النسبة بين الغذاء والكائنات الدقيقة، في وحدات بالكيلوجرامات من BOD لكل كيلو جرام من (MLSS) في اليوم.

معالجة وإعادة استخدام مياه الصرف الصحي

$Q =$ تدفقات مياه الصرف الصحي الخام، مليون لتر/ اليوم أو مليون جالون في اليوم.

$BOD =$ الحمل العضوي (5 day - BOD) المستخدم بالمجرام/ لتر (جزء في المليون).

$MLSS =$ المواد الصلبة العالقة في السائل المخلوط، ملجرام/لتر.

$V =$ حجم حوض التهوية مليون لتر (مليون جالون).

مثال :

حوض الحماية المنشطة بطول ٣٠ متراً وعرض ١٠ أمتار وعمق ٤ أمتار. تدفق مياه الصرف هو ٤ مليون لتر في اليوم والحمل العضوي BOD_5 هو ٢٠٠ ملجرام/لتر. تركيزات المواد الصلبة العالقة في السائل المخلوط ($MLSS$) هو ٢٠٠٠ ملجرام/لتر. أحسب نسبة الغذاء إلى الكائنات الدقيقة (F/M) للنظام.

الحل :

حوض التهوية للحماية النشطة التقليدي تسبقه المعالجة الأولية. بفرض أن ٣٥% للحمل العضوي الخام أزيلت في المرووق الأولى، ٦٥% من الحمل العضوي سوف تستخدم في حوض التهوية :

$$٠,٦٥ \times ٢٠٠ = ١٣٠ \text{ ملجرام/ لتر.}$$

حجم الحوض هو الطول \times العرض \times الارتفاع = $٣٠ \times ١٠ \times ٤ = ١٢٠٠ \text{ م}^٣$ أو ١,٢ مليون لتر.

$$F/M = \frac{Q \times BOD}{MLSS \times V} \text{ باستخدام معادلة}$$

$$٠,٢٢ = \frac{١٣٠ \times ٤}{١,٢ \times ٢٠٠٠} = F/M \therefore$$

مثال :

حوض تهوية تقليدي يعالج تدفق ٨٠٠٠٠٠ جالون في اليوم من السائل الأولي به حمل عضوي ١٢٥ جزء في المليون. تركيز المواد الصلبة العالقة في السائل المخلوط ($MLSS$) هو للمحافظة عليه عند ١٨٠٠ جزء في المليون ونسبة الغذاء إلى الكائنات

الدقيقة موصفة عند ٠,٤. أحسب الحجم المطلوب لحوض التهوية. إذا كان العمق الجانبي للماء ١٥ قدم وأن طول الحوض يجب أن يكون ثلاثة أضعاف العرض، ما هو الطول الذي سيكون للحوض؟

الحل :

$$\frac{BOD \times Q}{MLSS \times V} = F / M \text{ إعادة تنظيم المعادلة}$$

$$\frac{BOD \times Q}{MLSS \times F / M} = V \text{ لتكون}$$

$$= \frac{120 \times 0,8}{0,4 \times 1800} = 0,139 \text{ مليون جالون} = 140000 \text{ جالون}$$

$$\text{و } 140000 \text{ جالون} \times \frac{1 \text{ قدم مكعب}}{7,5 \text{ جالون}} = 18500 \text{ قدم مربع}$$

حيث أن الحجم = الطول × العرض × العمق وحيث أن الطول ثلاثة أضعاف العرض أو $3W = L$

$$\therefore \text{الحجم} = 3W \times W \times \text{العمق} = 3 \times W^2 \times \text{العمق}.$$

$$\therefore \text{عرض الحوض } W = \frac{(18500 \text{ قدم مربع})^{1/2}}{3 \times 10 \text{ قدم}} = 20 \text{ قدم}$$

$$\text{الطول} = 3 \times 20 = 60 \text{ قدم}$$

ترسيب الحمأة : (Sludge Settling)

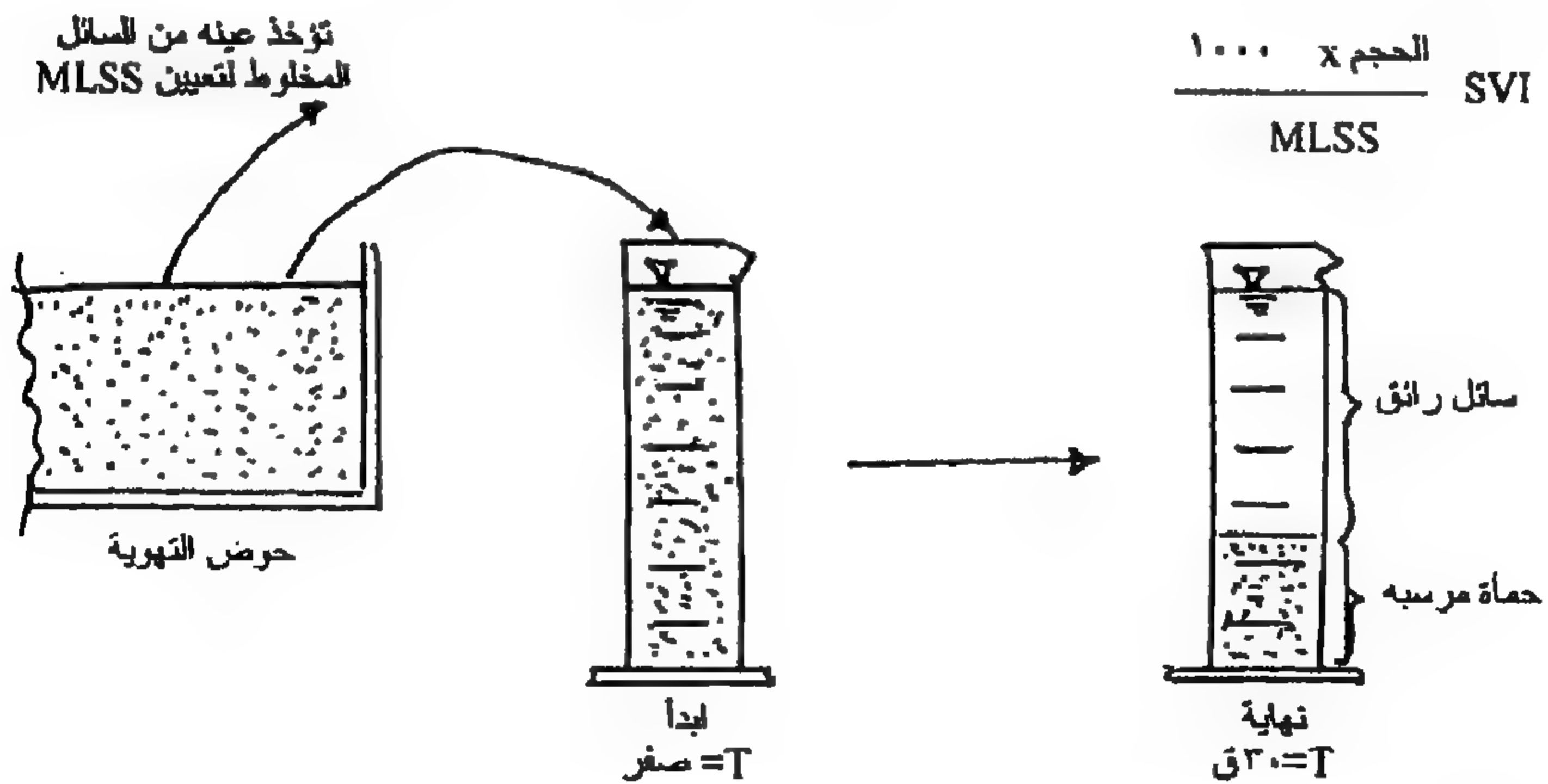
في عملية الحمأة المنشطة يتم امتصاص الملوثات العضوية بواسطة الملايين من الكائنات الحية الصغيرة في حوض التهوية. هذه الكائنات الدقيقة هي أساساً الحمأة المنشطة. ولكن بدون ترويق جيد أو فصل الحمأة من جزء السائل للسائل المخلوط، فإن عملية المعالجة سوف لا تكون ذات كفاءة مطلقاً. لهذا السبب، فإن الترسيب بالجاذبية في المروق الثاني هو أهم جزء في عملية المعالجة بالحمأة المنشطة. في حالة عدم الترسيب

للحماة بالسرعة الكافية فإن بعضاً منها سوف يحمل فوق هدارات المخرج للمروق مسبباً تلوثاً للمسطح المائى.

فى حالات معينة فى محطة معالجة مياه الصرف الصحى بالحماة المنشطة فإنه تنمو البكتريا الخيطية أو الشعرية عادة من نوع (Sphaerotilus natans) فى حوض التهوية، حيث تصبح الحماة خفيفة وذات زغبات. الحماة ذات النمو الزائد من هذه البكتريا ترسب ببطء شديد، حيث فى هذه الحالة لا يتكون سائل رائق فى المروق الثانى. كثيراً من الحماة تتدفق إلى الخارج مع المياه الخارجة. هذه الحالة تسمى انتفاخ الحماة (Sludge Bulking). يمكن التحكم فى انتفاخ الحماة بضبط تركيزات MLSS، نسبة F/M، وهذا يتم بتنظيم معدل عودة الحماة من المروق. كمية التهوية يمكن كذلك أن تكون عاملاً، حيث انتفاخ الحماة يمكن أن يكون بسبب التهوية الكثيرة جداً. أحياناً، ضبط الرقم الهيدروجينى (pH) للسائل المخلوط يمكن أن يحل هذه المشكلة.

الرقم الذى يسمى مؤشر حجم الحماة (Sludge Volume Index - SVI) يستخدم لتقييم استعداد الحماة للترسيب (Settleability). هو يساوى الحجم الذى يشغله جرام واحد من الحماة المرسبة معبراً عنها بوحدات السنتيمتر المكعب فى الجرام.

تعيين مؤشر حجم الحماة يشمل أخذ عينة من السائل المخلوط من حوض التهوية ثم تركها لترسب لمدة ٣٠ دقيقة فى أنبوبة زجاجية مدرجة. وهذا موضح فى الشكل (٦/٦)، يتم قراءة حجم الحماة من العلامات. كذلك يتم قياس المواد الصلبة العالقة فى السائل المخلوط (MLSS)



شكل (٦/٦) مخطط لتوضيح الاختبار المعمل لتعيين مؤشر حجم الحماة (SVI) المستخدم فى تعيين خواص ترسيب الحماة

تستخدم المعادلة لتقدير مؤشر حجم الحمأة (SVI)

$$\frac{1000 \times V}{MLSS} = SVI$$

حيث :

SVI = مؤشر حجم الحمأة سم³/جرام.

V = حجم الحمأة المرسبة، سم³/لتر.

MLSS = المواد الصلبة العالقة في السائل المخلوط ملجرام/لتر.

مثال :

حوض تهوية له (MLSS) بتركيز ٢٠٠٠ ملجرام/لتر. بعد الترسيب لمدة ٣٠ دقيقة في مخبر مدرج سعة واحد لتر، تم قياس حجم الحمأة إلى ١٥٠ سم^٣، أحسب مؤشر حجم الحمأة (SVI).

$$\text{باستخدام المعادلة فإن } SVI = \frac{١٥٠ \text{ سم}^٣/\text{لتر} \times ١٠٠٠}{٢٠٠٠ \text{ ملجرام/لتر}} = ٧٥ \text{ سم}^٣/\text{جرام}$$

الحمأة العادية ذات خواص ترسيب جيدة عموماً لها مؤشر حجم حمأة أقل من ١٠٠. مع زيادة المؤشر أكثر من ١٠٠، فإن قدرة الحمأة على الترسيب تقل وبعض من المواد الصلبة تحمل فوق هدار الخروج للمروق. الحمأة ذات الانتفاخ الكبير لها قيم مؤشرات حجم الحمأة أكبر من ٢٠٠. الارتفاع العالي لمؤشر حجم الحمأة هو مؤشر لعامل تشغيل المحطة أن معدل العودة للحمأة يجب أن يزداد، وأن معدل التهوية يجب أن ينخفض، أو أي عمليات ضبط أخرى يجب عملها. أحياناً يضاف الكلور إلى حوض التهوية لتدمير الكائنات الشعرية ولكن هذه الطريقة هي آخر ما يتم اللجوء إليه لحل المشكلة.

عموماً نظام المعالجة بالحمأة المنشطة الذي يتم تشغيله بكفاءة يمكن أن يزيل حوالي ٩٠% من الحمل العضوي (BOD) ومن المواد الصلبة العالقة وأحياناً قد تصل هذه النسبة إلى ٩٥%. مقارنة إلى النظام البسيط للمعالجة بالمرشحات الزلطية فإن نظام المعالجة

معالجة وإعادة استخدام مياه الصرف الصحي

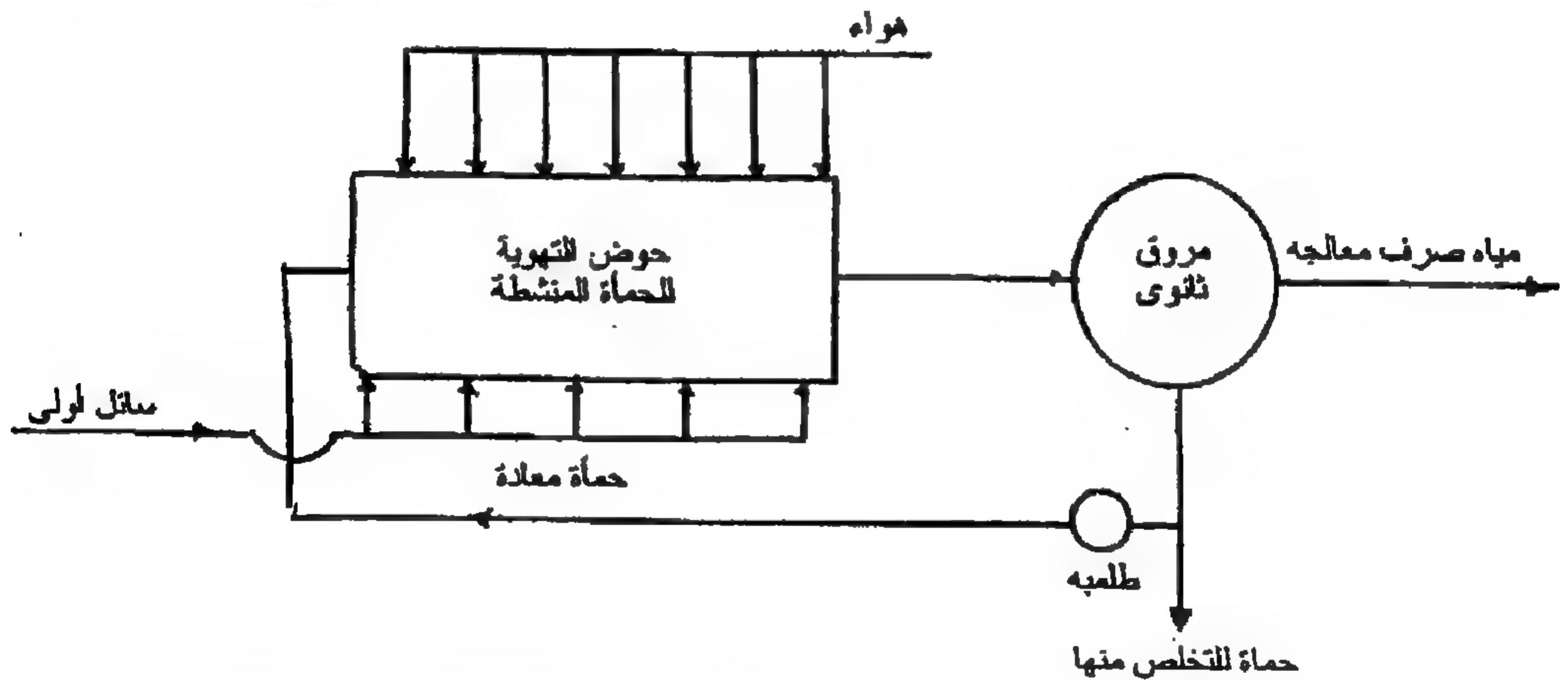
بالحماة المنشطة يتطلب الحرص في التحكم في عملية التشغيل. متطلبات الطاقة في محطة معالجة الصرف الصحي بالحماة المنشطة هي كذلك مرتفعة بسبب الطاقة المستخدمة في التهوية.

التعديلات لعملية الحماة المنشطة :

تم تطوير العديد من التعديلات على عملية الحماة المنشطة التقليدية وهذه بهدف زيادة كفاءة محطة المعالجة أو لخفض متطلبات حجم الحوض.

التهوية على خطوات : (Step Aeration)

عمليات التهوية على خطوات تتم من خلال عدد من نقط التغذية لسائل الصرف الأولى في حوض التهوية، كما هو موضح في الشكل (٦/٧). بإدخال المواد العضوية في الحوض في خطوات بمقادير وليس مرة واحدة على رأس الحوض، فإن مطالب الأكسجين تتوزع بانتظام على طول الحوض. بهذه الطريقة، يمكن الحصول على طاقة أكبر للمعالجة لحجم معين لحوض التهوية أفضل من ما يتم تحقيقه باستخدام الطريقة التقليدية.



شكل (٦/٧) مخطط للتهوية المتدرجة للمعالجة بالحماة المنشطة

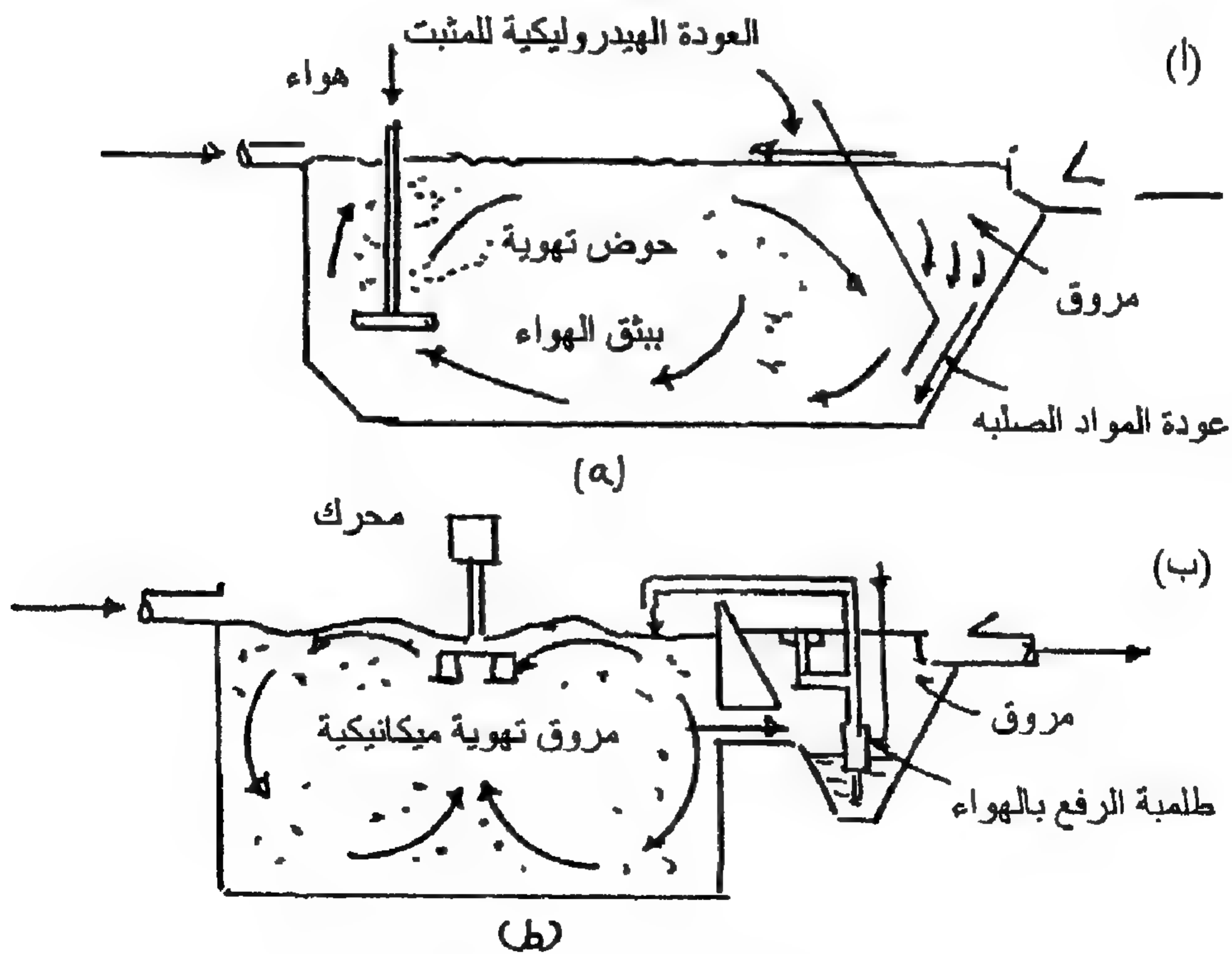
التهوية الممتدة (Extended Aeration)

لمعالجة التدفقات الصغيرة من مياه الصرف الصحي من التجمعات السكانية مثل الفنادق والمدارس، ومصادر الصرف الصحي الأخرى المعزولة نسبياً فإنه تستخدم عادة طريقة التهوية الممتدة للمعالجة. هذه النظم الصغيرة تكون عادة في شكل أحواض من الصلب مثقبة وتسمى المحطات الصندوقية (Package Plants). الأحواض التقليدية تصنع

عادة من الخرسانة المسلحة. فى نظام التهوية الممتدة يكون كلا من حوض التهوية والمروك الثنائى فى وحدة واحدة كما هو موضح فى الشكل (٦/٨).

يوجد اختلافين واضحين بين نظام التهوية الممتدة والنظام التقليدى، أولاً مياه الصرف الصحى التى تم مرورها خلال المصافى وأجهزة التقطيع يتم توجيهها مباشرة إلى حوض التهوية الممتدة بدون أى معالجة أولية. ثانياً زمن المكث أو زمن التهوية هو حوالى ٣٠ ساعة بينما فى النظام التقليدى حوالى ٦ ساعات.

الفرق الآخر هو أن عملية التهوية الممتدة تعمل بنسبة الغذاء إلى الكائنات الدقيقة (F/M) منخفضة حتى ٠,٠٥ وهذا يعنى أن هناك كمية كبيرة من الكائنات الدقيقة مقارنة لكمية الغذاء (المواد العضوية). نسبة الغذاء إلى الكائنات الدقيقة المنخفضة وكذلك الفترة الزمنية الممتدة للتهوية تسمح بتثبيت معظم المواد العضوية فى مياه الصرف. ولكن أخيراً يلزم إزالة بعض الحمأة من حوض التهوية والتخلص منها.



شكل (٦/٨) مخطط لمحطة المعالجة بالتهوية الممتدة.

(أ) البثق بالهواء ومروك القاع المثبت لعودة الحمأة.

(ب) تهوية ميكانيكية مع طلمبة الرفع الهوائى لعودة الحمأة.

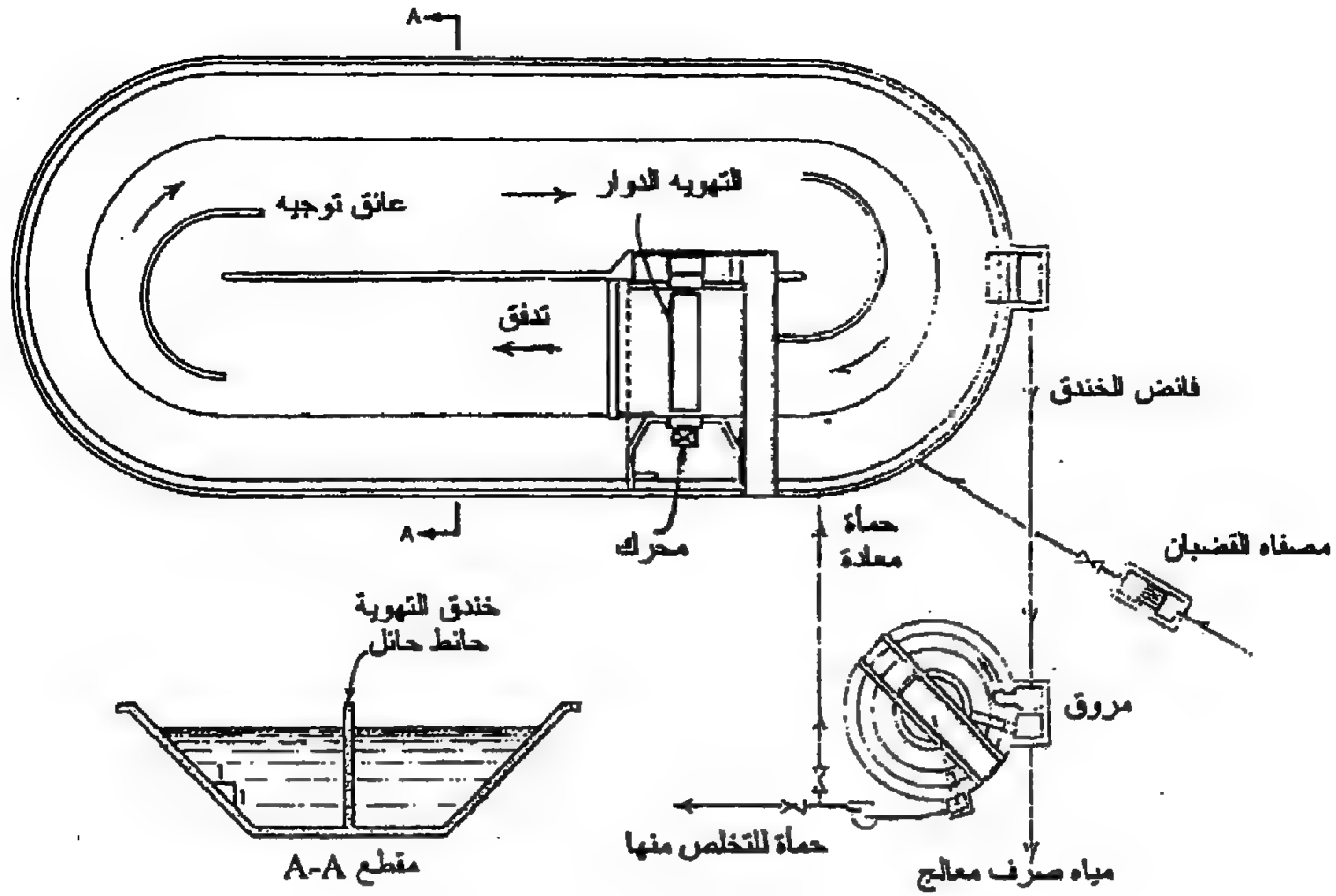
التهوية الميكانيكية : (Mechanical Aeration)

نظم التهوية الميكانيكية التي تستخدم أحواض ببيضاوية الشكل وهوائيات أفقية ذات الفرش الدوارة، تحقق كفاءة وسهولة في التشغيل. تلك الأحواض المبطنة بالخرسانة والتي تسمى خنادق الأكسدة (Oxidation Ditches) تكون بعمق ما بين ١,٢ إلى ١,٨ متر. وحدة التهوية الأفقية تعمل كعجلة أو دولاب التجديف (Paddle Wheel)، حيث يدفع مياه الصرف حوله في القناة بسرعة كافية لمنع ترسيب المواد الصلبة. أكسجين الهواء الجوي يتم انتقاله خلال السطح الحر للسائل. معظم قنوات الأكسدة تعمل عادة مثل نظم التهوية الممتدة، حيث أوقات التهوية أكثر من ١٢ ساعة. مخطط لنموذج خندق الأكسدة موضح في الشكل (٦/٩).

تلامس التثبيت والاستقرار : (Contact Stabilization)

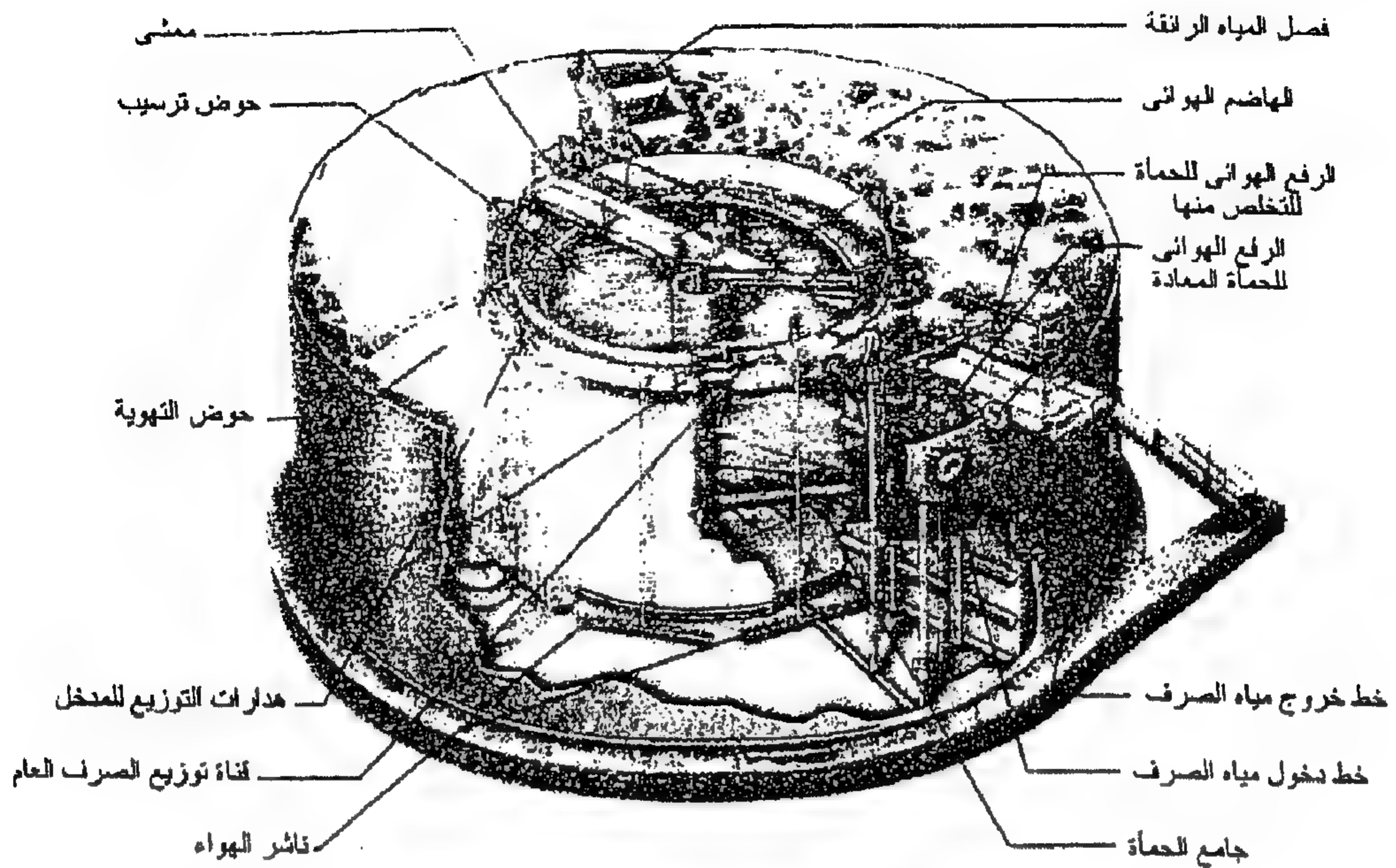
في أحد الأشكال المطورة الأخرى لعملية الحماية المنشطة، يتم خلط مياه الصرف الصحي وتهويتها مع الحماية المنشطة المعادة لمدة حوالي ٣٠ دقيقة فقط، هذه العملية تسمى تلامس التثبيت. زمن التلامس القصير لمدة ٣٠ دقيقة يكون كافياً لتمتص الكائنات الحية الصغيرة الملوثات العضوية، ولكن ليس لتثبيتها واستقرارها.

بعد زمن التلامس، يدخل السائل المخلوط إلى المروق حيث ترسب الحماية المنشطة، وتتدفق مياه الصرف الرائقة فوق هدارات الخروج. يتم ضخ الحماية المرسبة إلى حوض تهوية آخر، يسمى حوض إعادة التهوية أو التثبيت والاستقرار. محتويات حوض التثبيت يتم تهويتها لمدة حوالي ثلاث ساعات، حيث يمكن للكائنات الدقيقة أن تقوم بتحلل المواد العضوية الممتصة. الحجم الإجمالي لحوض التثبيت يكون عموماً أقل من ذلك للمحطة التقليدية، ذلك لأن حجم الحماية المنشطة التي يتم تثبيتها في حوض إعادة التهوية يكون أقل كثيراً من إجمالي تدفقات مياه الصرف. مخطط لتدفق تلامس التثبيت موضح في الشكل (٦/٩).



شكل (٦/٩) مخطط لخندق التهوية

يتكون ملامس التثبيت من حوض دائري من الصلب، بداخله حوض لتوفير منطقة الترويق. الحجم المحيطي ما بين الحوض الداخلي وجدار الحوض الخارجي يوفر مساحة أو منطقة للتلامس، إعادة التهوية، وتخزين الحماة. عادة تستخدم طلمبة الرفع الهوائي للحماة لنقل الحماة بين مناطق الحوض، مع قليل من التطوير لنظم المواسير ونظم الإعاقة (Baffling)، يمكن لنظام ملامس التثبيت العمل بطريقة التهوية على الخطوات المرحلية أو بالتهوية الممتدة. وحدة معالجة الصرف الصحي الدائرية موضحة في الشكل (٦/١٠).



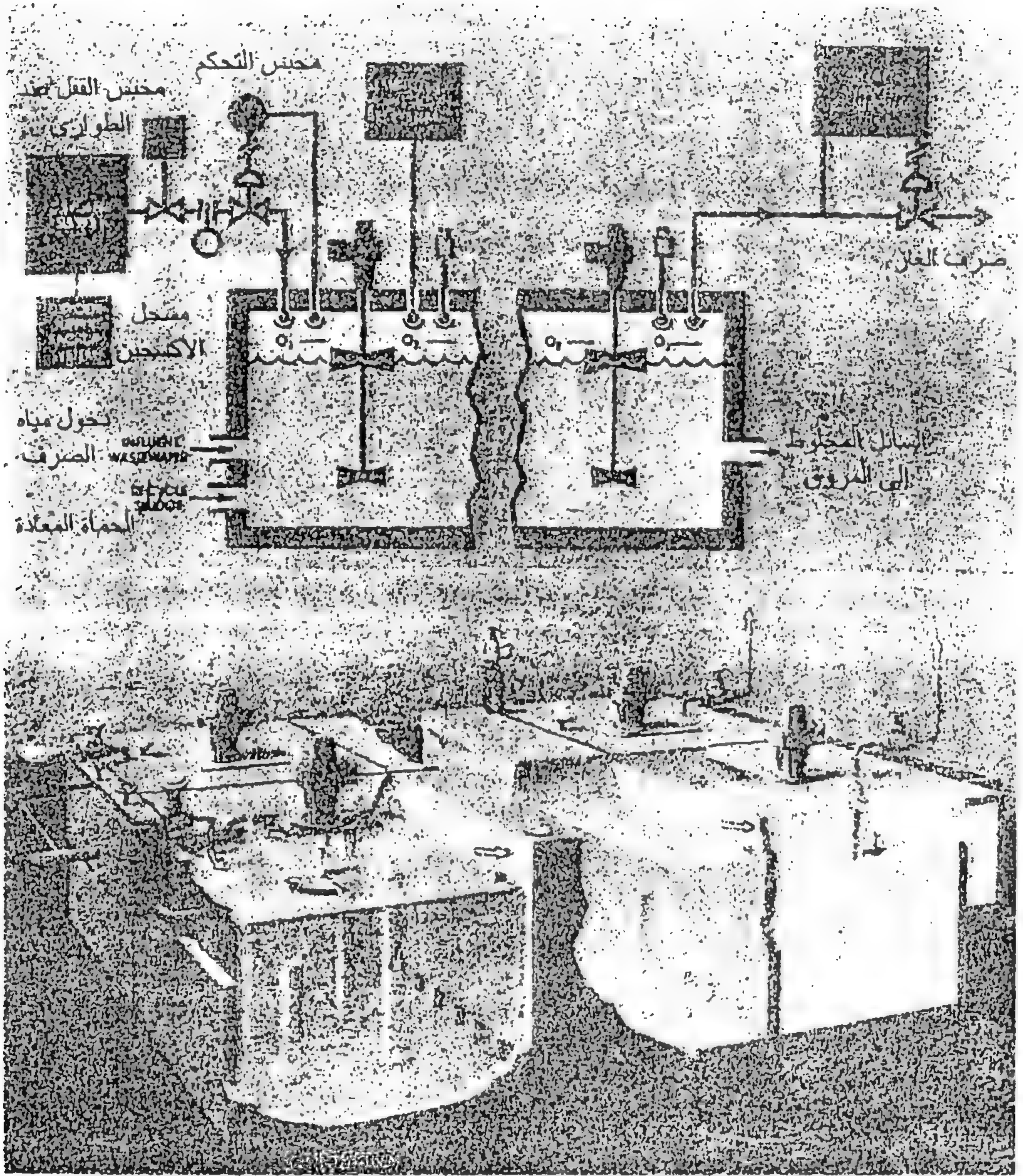
شكل (٦/١٠) محطة معالجة الصرف الصحي من الصلب المثقّب بأقطار

حتى ٣٠ متر ويمكن استخدامها في التهوية على مراحل

أو الالتصاق والتثبيت لطريقة التهوية الممتدة للمعالجة

التهوية بالأكسجين النقي : (Pure Oxygen Aeration)

الهواء به ٢١% فقط من الأكسجين. بدلاً من استخدام الهواء، يمكن زيادة طاقة المعالجة بحقن الأكسجين عالي النقاء في السائل (Mixed Liquor) لمحطة معالجة مياه الصرف بالحماة المنشطة. نظام التهوية بالأكسجين عالي النقاء موضح في الشكل (٦/١١) يتم تصنيع الأكسجين في موقع المحطة. يتم إدخال السائل الأولي، الحماة المنشطة المعادة، والأكسجين إلى الغرفة الأولى للحوض المغطى متعدد الحجرات. التقليب الميكانيكي يخلط الأكسجين مع مياه الصرف مع تدفقاتها خلال الحوض. الزمن الكلي للتهوية هو فقط ٢ ساعة، ونسبة الغذاء إلى البكتيريا (F/M) تكون مرتفعة حتى ١,٥ وبالتالي فإن حجم حوض التهوية يكون أقل كثيراً عن المطلوب للنظام التقليدي.

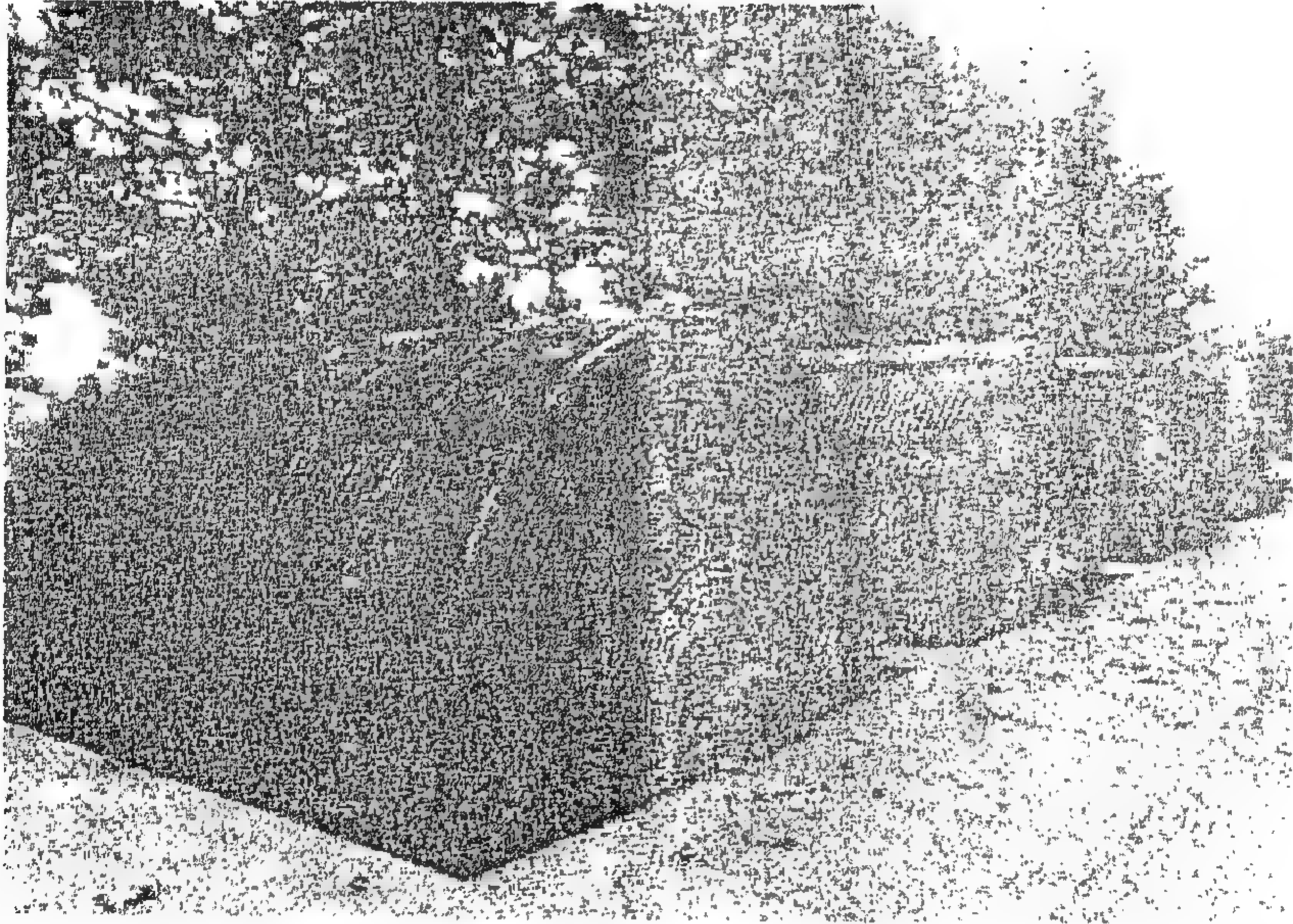


شكل (٦/١١) يمكن استخدام الأكسجين النقي في معالجة مياه الصرف بطريقة الحماية المنشطة، الأحواض تكون مغطاة للمحافظة على الأكسجين الذي يتم إنتاجه في الموقع.

عمليات معالجة ثانوية أخرى :

وحدة المعالجة البيولوجية التي استخدمت في أوروبا وأصبحت مقبولة في الولايات المتحدة هي القرص البيولوجي (Biodisc) أو الملامس البيولوجي الدوار (Rotating

(Biological Contactor) وهو يتكون من عدة أقراص من البلاستيك مركبة على عمود إدارة أفقى. الأقراص خفيفة الوزن هي بقطر حوالى ٣متر، وبفواصل حوالى ٤سم على عمود الإدارة. نموذج لوحدة الأقراص موضح فى الشكل (٦/١٢). الأقراص يتم غمرها جزئياً فى مياه الصرف المرسبة (السائل الأولي). مع دوران عمود الإدارة فإن أسطح القرص تكون ملتصقة ما بين الهواء ومياه الصرف بالتبادل. وبالتالي فإنه تنمو طبقة من الكتلة البيولوجية (Slime) على كل قرص، والميكروبات الملتصقة التى تكون الطبقة تمتص المادة العضوية فى مياه الصرف. هذه العملية تشبه نظام المرشح الزلطى، عدا أن نمو الكائنات الملتصقة يمر خلال مياه الصرف وليس من خلال رش مياه الصرف فوق الكائنات الدقيقة.



شكل (٦/١٢) سلسلة من الملامسات البيولوجية الدوارة أو الأقراص البيولوجية للمعالجة الثنائية لمياه الصرف الصحي.

سرعة الدوران وعدد الأقراص يمكن أن يتغير للحصول على مستويات محددة لإزالة الملوثات. مع عدد من مراحل الأقراص، يمكن إزالة كلا من الحمل العضوى (BOD) النيتروجينى والكربونى. ذلك لأن نمو بكتريا النتجة (Nitrifying Bacteria) يكون كثيراً فى تركيز الكائنات على المراحل الأخيرة للقرص.

فى نظام القرص البيولوجى، لا توجد حاجة لتدوير الحماة، ولكن يلزم مروق ثنائى لترسيب المواد البيولوجية الصلبة الزائدة التى تتفصل عن القرص مع زيادة سمك الطبقة

البيولوجية. كما في حالة المرشح الزلطي، فإن كفاءة المرشح الزلطي تتأثر بشدة عند درجات الحرارة المنخفضة. ذلك لأن معدل الأيض (تحويل الغذاء والطاقة إلى خلايا) (Metalolism) للميكروبات يقل عند انخفاض درجة الحرارة.

في المناطق حيث المساحات من الأرض متاحة فإنه يمكن استخدام البحيرات الضحلة للصرف الصحي (Sewage Lagoons) في المعالجة الثنائية. وهي تسمى كذلك برك الأكسدة أو التثبيت (Oxidation Ponds). النوع المستخدم عادة من البرك لمعالجة الصرف الصحي هو البركة الاختيارية (Facultative Pond). في البركة الاختيارية والتي هي عموماً بعمق ٢ متر تحدث كلا من التفاعلات الهوائية واللاهوائية، كما هو موضح في الشكل (٦/١٣).

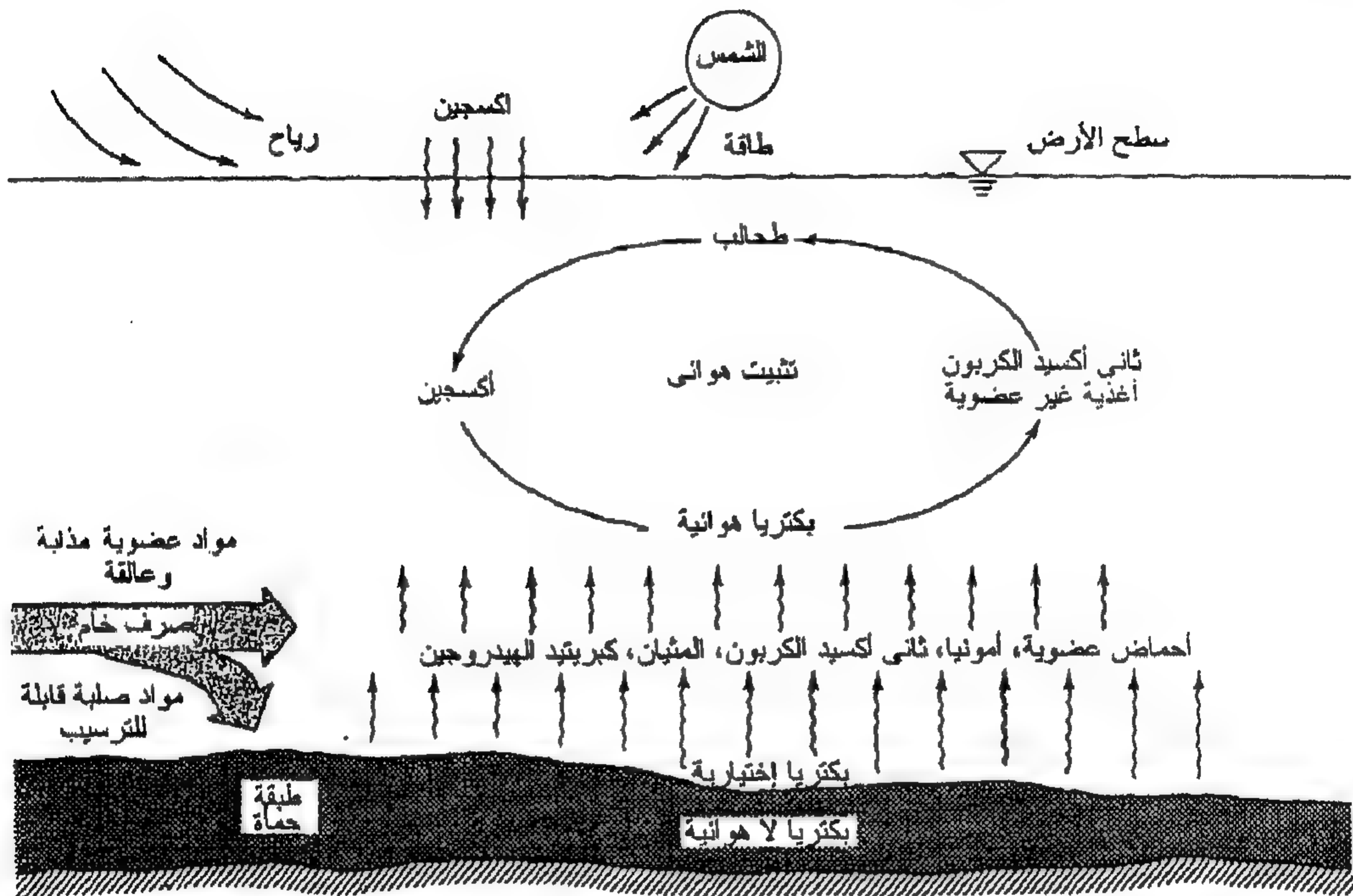
تدخل مياه الصرف الصحي الخام إلى البركة، بدون الحاجة إلى المعالجة الأولية، المواد العضوية الصلبة التي ترسب في القاع تتحلل لاهوائياً منتجة نواتج التحلل مثل الميثان، كبريتيد الهيدروجين والأحماض العضوية. في السائل فوق منطقة الحمأة في بركة الأكسدة فإن المواد العضوية القادمة ونواتج التحلل اللاهوائي يتم تثبيتها بواسطة البكتيريا المختلطة وكذلك بواسطة الكائنات الدقيقة الهوائية. البكتيريا المختلطة يمكن أن تنمو في أي من البيئة الهوائية أو اللاهوائية، متوسط الفترة الزمنية لمكث مياه الصرف الصحي في البركة المختلطة يمكن أن يكون ٦٠ يوم أو أكثر.

يضاف الأكسجين إلى مياه الصرف في البركة بفعل الرياح والخلط عند السطح وكذلك أثناء التمثيل الضوئي للطحالب في ضوء النهار. هذا الأكسجين يساعد على التفاعلات الهوائية. العلاقة التبادلية المستقلة بين الطحالب والبكتيريا في بركة الأكسدة ذات أهمية كبيرة. باستخدام الطاقة من أشعة الشمس، فإن الطحالب تنمو وتتكاثر بامتصاص ثاني أكسيد الكربون وبعض المواد الغير عضوية الأخرى التي تتطلق من البكتيريا. البكتيريا تستخدم كلا من الأكسجين الذي تطلقه الطحالب والمواد العضوية من مياه الصرف.

رغم أن الطحالب تقوم بدور هام في عملية التنقية في قنوات الصرف الصحي، فإنها يمكن أن تسبب مشكلة كذلك. فعند حمل هذه النباتات الميكروسكوبية خارج بركة الأكسدة في تدفقات الصرف المعالج، فإن المستويات المسموح بها بالنسبة لإجمالي المواد الصلبة العالقة (TSS) تكون عادة زائدة. هذه المشكلة يمكن أن تكون حادة خاصة في شهور

الصيف الحارة. أحيانا باستخدام بركتين أو أكثر على التوالي مع التحكم الحذر في تدفقات المياه الخارجة (المعالجة) فإنه يمكن التخلص من حمل المياه للطحالب.

رغم الصعوبة الحادة بالنسبة لكفاءة إزالة المواد الصلبة العالقة، فإن بحيرات الصرف الصحي الضحلة تستخدم حيث المساحات من الأرض تكون متاحة. تكاليف الإنشاء المنخفضة، سهولة التشغيل والصيانة، والاستهلاك للطاقة الشبه مهمل يوفر مميزات كبيرة لنظام المعالجة الطبيعية هذا.



شكل (٦/١٣) مخطط للتفاعلات البيولوجية المعقدة التي تحدث

في حوض أو خندق التثبيت لمياه الصرف.

تطهير مياه الصرف المعالجة : (Secondary Effluent Disinfection)

العملية الأخيرة في المعالجة الثنائية لمياه الصرف الصحي هي عملية التطهير (Disinfection). الغرض من تطهير مياه الصرف الصحي هو قتل الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض الوبائية (Pathogens) والتي يمكن أن تبقى حية (Survive) بعد عملية المعالجة الثنائية وبذا يمكن حماية الصحة العامة. (إزالة الحمل العضوي BOD والمواد الصلبة العالقة تفيد فقط في حماية البيئة المائية). تطهير مياه الصرف يعتبر هاما وأساسا

فى حالة صرف مياه الصرف الصحى المعالج فى مسطح مائى يستخدم للاستجمام والسباحة أو فى إمدادات مياه الشرب للمجتمعات تحت التيار.

مثل مياه الشرب فإن تطهير مياه الصرف الصحى يتم عادة باستخدام الكلور. الكلور المطلوب لمياه الصرف يكون مرتفعاً نسبياً عند المقارنة للمطلوب فى مياه الشرب. يلزم جرعة كلور حوالى ١٠ ملجرام/لتر لترى كلور متحد متبقى ٠,٥ ملجرام/لتر فى مياه الصرف بعد المعالجة الثنائية.

يستخدم حوض منفصل لتحقيق الالتصاق بالكلور، مجهز بعوائق لمنع قصر المسافة للتدفق (ShortCircuit)، وذلك لتأكيد ما لا يقل عن ١٥ دقيقة زمن التصاق بين مياه الصرف الصحى والكلور. رغم أن وجود الكلور المتبقى هو علامة للتطهير المؤثر، إلا أنه يلزم عمل اختبارات إضافية وتحديدًا البيولوجية (حيث المسموح به هو أقصى تركيز من الكوليفورم الغائطى ٢٠٠ فى كل ١٠٠ سم^٣ من مياه الصرف. الكلورة الزائدة لمياه الصرف يمكن أن يكون لها مردود بيئى سيئ. التركيز العالى من الكلور قريباً من مواسير صرف مياه الصرف يمكن أن يقتل الأسماك والكائنات المائية. لذلك يلزم التحكم فى جرعة الكلور لتجنب الفقد فى الكلور وحماية البيئة المائية.

فى بعض الحالات يكون من الضرورى إزالة الكلور (Dechlorination) المتبقى من مياه الصرف لحماية الكائنات المائية. وذلك باستخدام عامل إختزال مثل (SO₃)

٤- المعالجة الثلاثية (أو المتقدمة) : (Tertiary (Advanced) Treatment)

المعالجة الثنائية يمكنها إزالة من ٨٥ - ٩٥% من الحمل العضوى والمواد الصلبة العالقة من مياه الصرف الصحى، عموماً، يكون الذى تم تركه فى مياه الصرف هو حوالى ٣٠ ملجرام/لتر من الحمل العضوى والمواد الصلبة فى مياه الصرف بعد المعالجة الثنائية. ولكن أحياناً يكون هذا المستوى من المعالجة الثنائية ليس كافياً لحماية البيئة المائية. فمثلاً، فترة المعدل المنخفض للتدفقات التى تحدث من أن إلى آخر فى المجرى المائى حيث نوع من الأسماك (السلمون) يمكن أن لا يوفر كمية التخفيف لمياه الصرف اللازمة لأدنى مستوى من الأكسجين لحياة الأسماك.

محدد آخر للمعالجة الثنائية حيث أنها لا تقلل تركيز النيتروجين والفوسفور فى مياه الصرف المعالج. النيتروجين والفوسفور مواد غذاء هامة للنبات. فى حالة صرفها على البحيرة فإنه يمكن حدوث سحببات من الطحالب، مع فرط النمء الطحلبى وتعفنه (Eutrophication) وتعجيل شيخوخة (Aging) البحيرة. كذلك فإن النيتروجين فى مياه

الصرف الصحي يمكن أن يكون غالباً في شكل مركبات الأمونيا. هذه المركبات سامة للأسماك في حالة تركيزاتها المرتفعة. مشكلة أخرى مع الأمونيا هي أنها تفرز مطالب أكسجين نيتروجينية في المياه المستقبلية نظراً لأنها تتحول إلى النترات. هذه العملية تسمى النترجة (Nitrification). يلزم عمل معالجة إضافية أو متقدمة عندما يكون المطلوب إزالة ملوثات أكثر من تلك التي تم إزالتها بالمعالجة الثانوية إما لخفض تركيزات الأحماض العضوية والمواد الصلبة العالقة أو لإزالة مواد غذاء النبات. هذه المعالجة الإضافية تسمى المعالجة الثلاثية. ذلك لأن كثيراً من العمليات الإضافية تلي عمليات المعالجة الأولية والثانوية على التوالي. المعالجة الثلاثية لمياه الصرف الصحي يمكن أن تزيل أكثر من 99% من الملوثات من الصرف الصحي الخام ويمكن أن تنتج مياه ذات نوعية مثل مياه الشرب. ولكن تكاليف المعالجة الثلاثية بالنسبة للتشغيل والصيانة وكذلك بالنسبة للإنشاء مرتفعة جداً، أحياناً ضعف تكلفة المعالجة الثانوية. وعموماً استخدام أحد أشكال المعالجة الثلاثية ليس مألوفاً ذلك لأن النسبة بين الفائدة والتكاليف لا تبرر استخدامها.

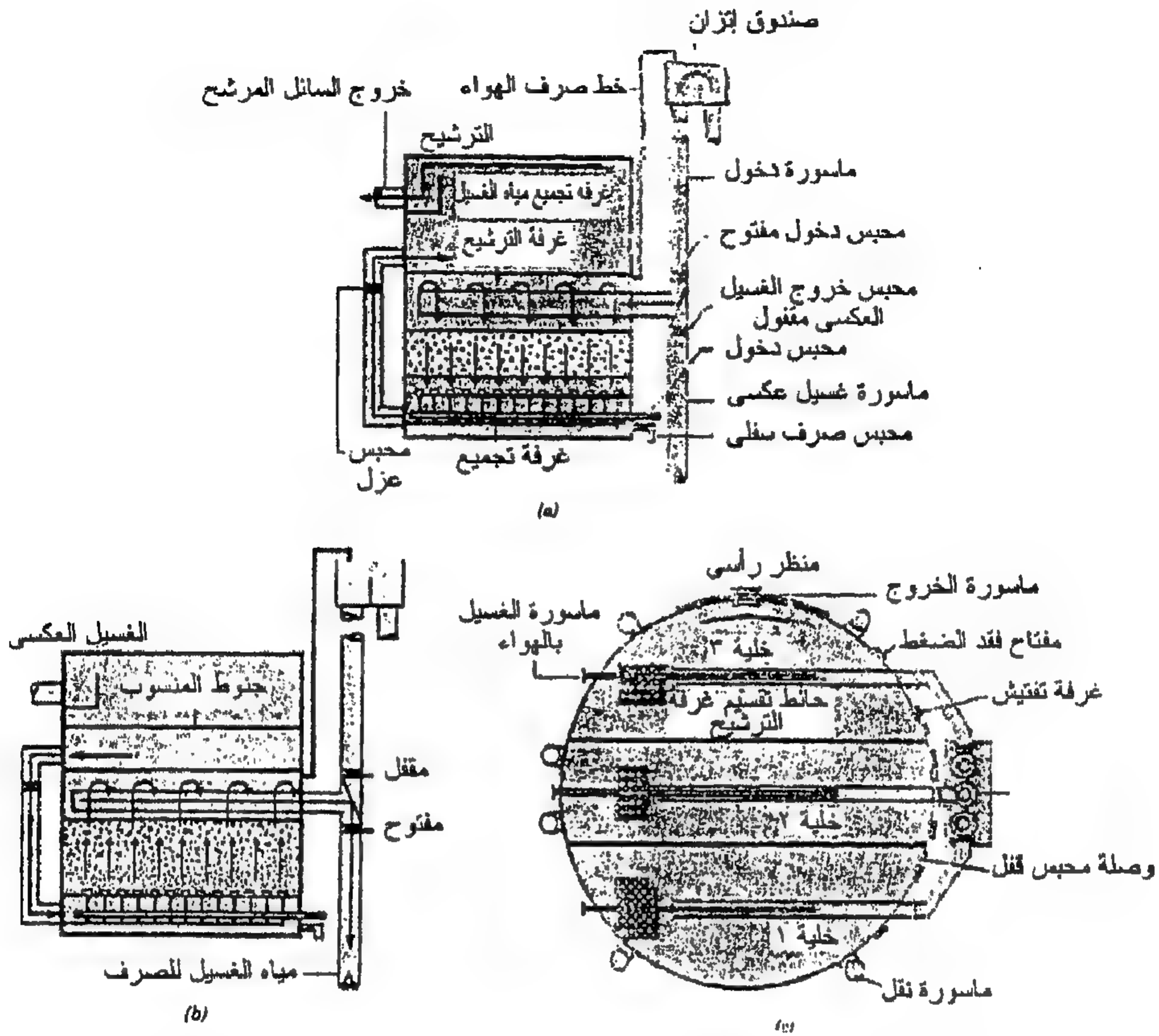
تلميع مياه الصرف المعالج: (Effluent Polishing)

الإزالة الإضافية للحمل العضوي والمواد العالقة من مياه الصرف بعد المعالجة الثانوية تسمى أحياناً التلميع لمياه الصرف المعالجة. وهذه يتم تنفيذها عادة باستخدام وسط ترشيحي حبيبي يشبه المرشح المستخدم في تنقية مياه الشرب. نظراً لأن المواد الصلبة العالقة تتكون في معظمها من مركبات عضوية، فإن الترشيح يزيل الحمل العضوي وكذلك المواد الصلبة العالقة.

تستخدم المرشحات ذات الوسط الترشيحي المختلط للحصول على الترشيح العميق لمياه الصرف. بسبب وجود المواد العضوية والمواد الصلبة العالقة ذات صفة التحلل البيولوجي في مياه الصرف الثانوي، فإن المرشحات الثانوية يجب عمل الغسيل العكسي لها من أن إلى آخر، وإلا فإن التحلل يمكن أن يسبب حالة لا هوائية أو عفوفه في طبقة المرشح. بالإضافة إلى الدورة التقليدية للغسيل العكسي فإنه يستخدم غسيل إضافي سطحي بالهواء لعمل النظافة الجيدة للوسط الترشيحي. الترشيح يمكن أن يتم بالجاذبية في مرشحات مفتوحة أو بالضغط في مرشحات ضغط مغلقة.

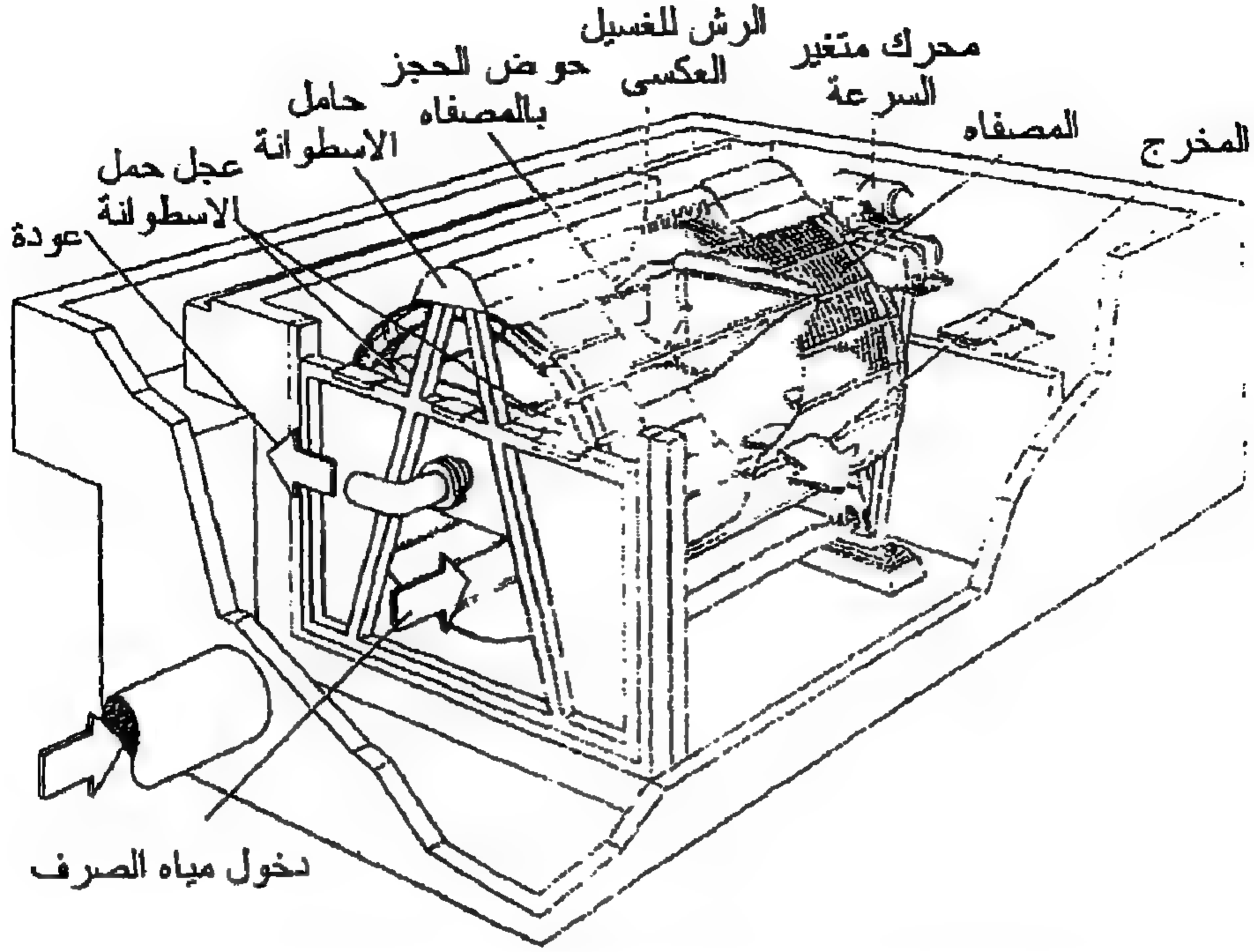
مخطط للمرشح الثلاثي الذي يعمل آلياً موضح في الشكل (٦/١٤) المياه المرشحة يمكن تخزينها في حوض مجاور لاستخدامها كمياه الغسيل العكسي وذلك عند وصول الفقد

في الضغط خلال المرشح مستوى سبق تحديده. أحياناً حوض مياه الغسيل العكسي يوضع فوق المرشح مباشرة مكوناً وحدة واحدة.



شكل (٦/١٤) المرشحات السريعة بالغسيل العكسي يمكن استخدامها لتلميع المياه المعالجة في المعالجة يبين طريقة (b) يبين طريقة الترشيح (a) الثلاثية أو المتقدمة في محطة معالجة مياه الصرف الصحي يمكن إنشاء ثلاث خلايا ترشيح مستقلة في وحدة مثقبة واحدة. (c) الغسيل العكسي

عملية أخرى تسمى التصفية الميكرونية (Microstraining) يمكن أن تستخدم كمعالجة ثلاثية لمياه الصرف لخفض المواد الصلبة العالقة. حيث تستخدم مصافي من نسيج مصنوع من أسلاك الصلب بفتحات صغيرة حتى ٢٠ ميكرومتر (الميكرومتر واحد/ مليون من المتر). الأسطوانة الدوارة تكون مغمورة جزئياً في مياه الصرف المعالج ثنائياً الذي يجب أن يتدفق في الأسطوانة ثم إلى الخارج خلال المصفاة الميكرونية. مع دوران الأسطوانة فإن المواد الصلبة المحتجزة تحمل إلى القمة حيث الرش بالمياه عالية السرعة يزيلها في قادوس مركب على محور الأسطوانة. مخطط للمصفاة الميكرونية موضح في الشكل (٦/١٥).



شكل (٦/١٥) مخطط يوضح المكونات الأساسية لوحدة المصافي الميكرونية التي يمكن أن تستخدم في المعالجة الثلاثية لمياه الصرف.

إزالة الفوسفور : (Phosphorus Removal)

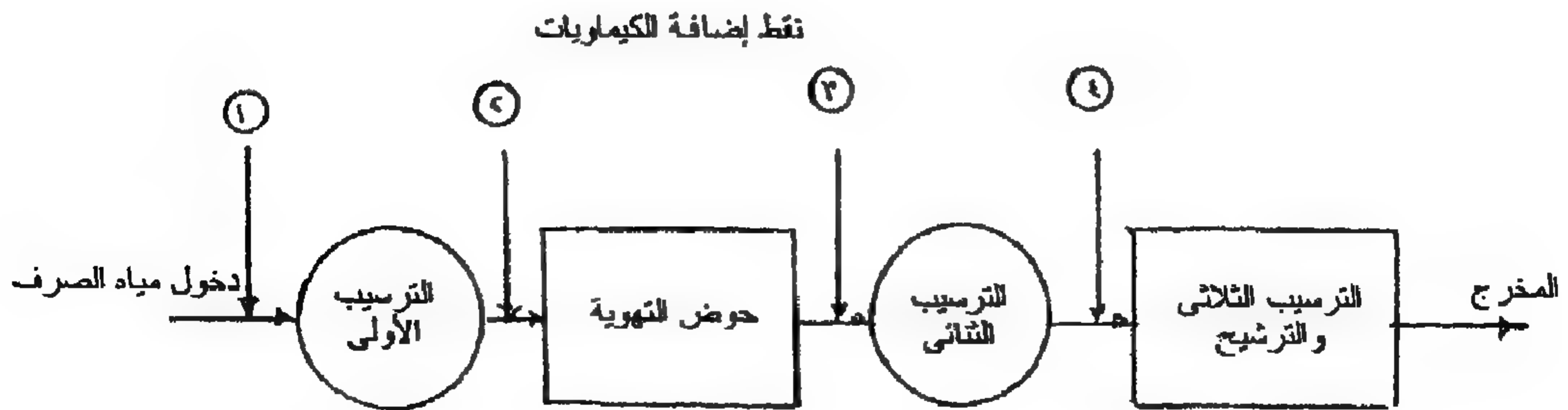
الفوسفور هو أحد العناصر الغذائية للنبات والذي يساهم في زيادة النمو الطحلبى وتغفنه في المسطح المائى. الصرف الصحى الخام يحتوى على حوالى ١٠ ملجرام/لتر من الفوسفور، ومصدره المنظفات الصناعية المنزلية والإفرازات الأدمية. الفوسفور فى مياه الصرف يوجد أساساً فى شكل الفوسفور العضوى مثل مركبات الفوسفات، PO_4^{3-} ، يزال فقط حوالى ٣٠% من الفوسفور بالبكتريا فى وحدة المعالجة التقليدية الثنائية (البيولوجية)، حيث يتحرك حوالى ٧ جزء فى المليون من الفوسفور فى مياه الصرف المعالجة.

عندما تكون معايير الصرف على المسطحات المائية تتطلب تركيزات من الفوسفور منخفضة، فإنه يلزم إضافة عملية معالجة ثلاثية إلى محطة المعالجة. وهذه عادة تشمل الترسيب الكيميائى لأيونات الفوسفور، والترويب. مركبات الفوسفور العضوى تحتجز فى زغبات المروب التى تتكون وترسب فى حوض الترسيب.

المروب المستخدم عادة في هذه العملية هو عادة كبريتات الألومنيوم ($Al_2 SO_4$) والذي يسمى الشبه (Alum)، وهو نفس المروب المستخدم في تنقية مياه الشرب. أيونات الألومنيوم في الشبه تتفاعل مع أيونات الفوسفات في الصرف الصحي لتكوين الراسب الغير مذاب المسمى فوسفات الألومنيوم (Aluminum Phosphate). تستخدم كيماويات ترويب أخرى لترسيب الفوسفور مثل كلوريد الحديدك ($FeCl_3$)، الجير الحى (CaO). إضافة المروب تحت التيار لعمليات المعالجة الثنائية يوفر أكبر إمكانيات كلفة لخفض الفوسفور. وهي لا تزال فقط ٩٠% من الفوسفور، ولكن تزال بالإضافة إلى ذلك المواد الصلبة العالقة وتقوم بعملية التلميع لمياه الصرف كذلك. ولكن عند استخدام المروبات بهذه الطريقة كعملية معالجة ثلاثية، فإنه يلزم أحواض إضافية للترغيب والترويب والترسيب. في بعض الحالات حتى أن المرشحات يمكن إضافتها لإزالة الزغبات التي لم ترسب.

ولتجنب الحاجة إلى إنشاء أحواض إضافية ومرشحات، فإنه في معظم محطات المعالجة التي تحتاج إلى إزالة الفوسفور يتم إضافة كيماويات الترويب إلى مياه الصرف عند نقطة ما في العملية التقليدية. فمثلاً، يمكن إضافة الشبه قبل أحواض الترسيب الأولى. نواتج الجمع بين حماة المعالجة الأولى وحماة الكيماويات يتم إزالتها من المروق الأولى.

في محطات الحماة المنشطة، يمكن إضافة المروب مباشرة في أحواض التهوية. في هذه الحالة فإن تفاعلات الترويب والترسيب تحدث جنباً إلى جنب مع التفاعلات البيوكيماوية. أحياناً، يمكن إضافة المروب إلى مياه الصرف قبل المروقات الثانوية أو الأخيرة مباشرة. بصرف النظر عن نقطة إضافة المروب في العملية، فإن حجم ووزن الحماة اللازم التخلص منها يزداد كثيراً. بدائل إزالة الفوسفور بالترسيب الكيماوي موضحة في الشكل (٦/١٦).



شكل (٦/١٦) يمكن إزالة الفوسفور من مياه الصرف بالترسيب الكيماوي، عادة تستخدم الشبه (كبريتات الألومنيوم)، يمكن إضافتها عند أحد النقاط الأربع الموضحة، ولكن النقطة رقم (٢) هي المستخدمة عادة.

إزالة النيتروجين : Nitrogen Removal

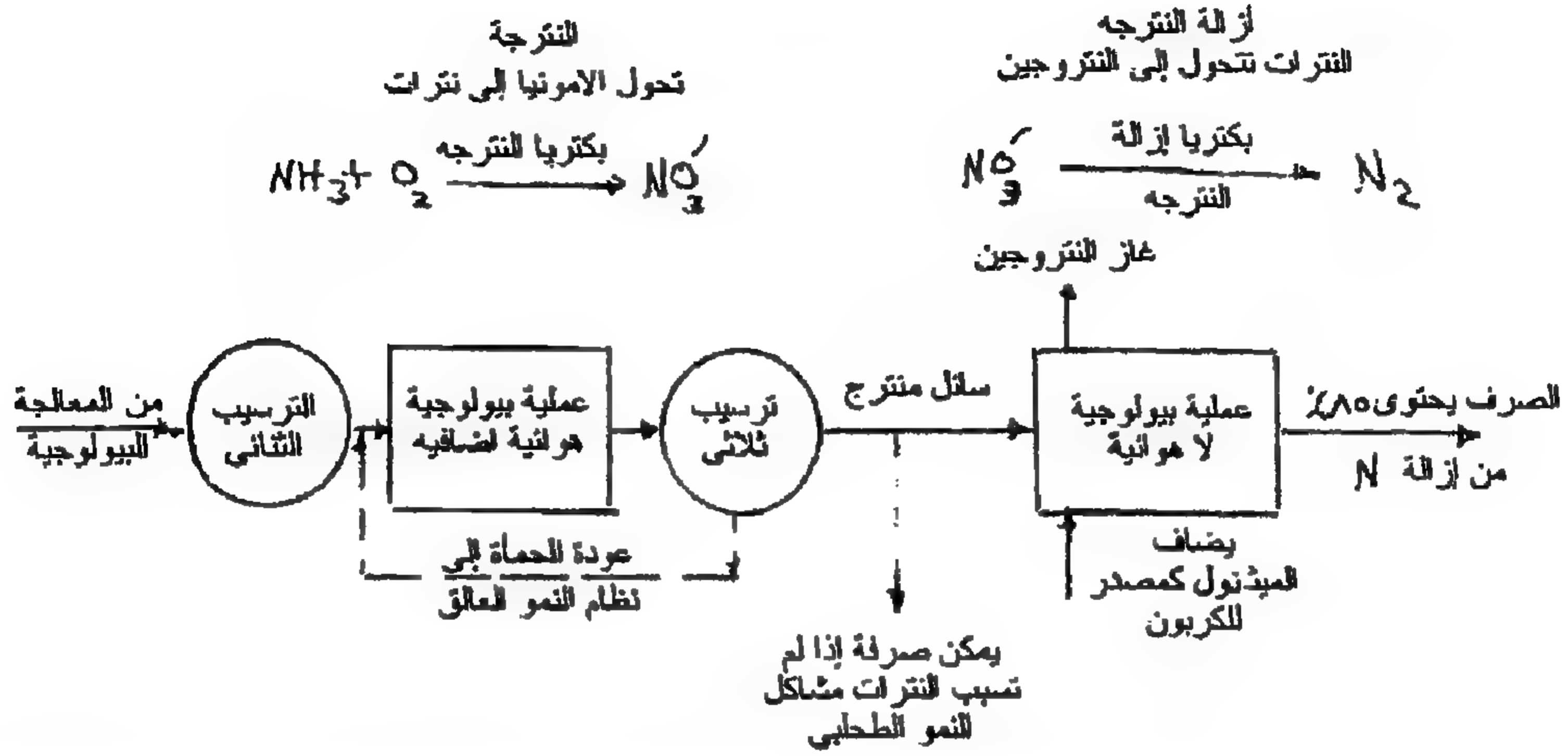
النيتروجين يمكن أن يوجد في مياه الصرف في شكل النيتروجين العضوي، الأمونيا، مركبات النترات. مياه الصرف المعالجة بالحماة المنشطة التقليدية تحتوي غالباً على نيتروجين الأمونيا (أيون الأمونيا، في شكل (NH_4^+)). مياه الصرف المعالجة بطريقة المرشحات الزلطية أو الأقراص البيولوجية الدوارة (Biodisc) قد تحتوي على كثير من أيون النترات (NO_3^-) > ذلك لأن بكتريا النتجة (Nitrifying Bacteria) تلك الميكروبات التي تحول الأمونيا إلى نترات تكون لها فرصة النمو والتكاثر على بعض الأسطح في وحدات المرشحات الزلطية والأقراص البيولوجية. وهذه لا تعيش في النمو المختلط لحوض التهوية، حيث تتزاحم بعيداً بفعل البكتريا الأسرع نمواً والتي تستهلك المواد العضوية الكربونية.

النيتروجين في شكل أمونيا يمكن أن يكون ساماً للأسماك، ونظراً لتحوله إلى النترات فإنه يستهلك الأكسجين الموجود في الماء. نيتروجين النترات هو واحد من المركبات الغذائية للنبات المسببة للنمو الطحلي في المسطح المائي. لهذا السبب، يكون من الضروري أحياناً إزالة النيتروجين من مياه الصرف المعالجة قبل صرفها على المسطح المائي مباشرة.

أحد الطرق المستخدمة لإزالة النيتروجين تسمى النتجة البيولوجية وإزالة النتجة (Biological Nitrification - Denitrification)، وهذه تتكون من خطوتين أساسيتين. أولاً، مياه الصرف بعد المعالجة الثنائية يتم إدخالها إلى حوض تهوية آخر، مرشح زلطي، أو قرص بيولوجي. نظراً لأن معظم الحمل الكربوني (BOD) تم إزالته، فإن الكائنات التي سوف تعيش حالياً في الخطوة الثالثة هي بكتريا النتجة (Nitrifying Bacteria) وهي (Nitrosomonas and Nitrobacter). في هذه الخطوة الأولى المسماة النتجة، يتحول نيتروجين الأمونيا إلى نيتروجين النترات منتجاً سائل تم نترجته. عند هذه النقطة النيتروجين لم تتم إزالته حقيقياً ولكن تحول فقط إلى الشكل الغير سام للأسماك والذي لا يتطلب أكسجين إضافي.

الخطوة البيولوجية الثانية للمعالجة ضرورية لإزالة الحقيقية للنيتروجين من مياه الصرف. وهذه تسمى (Denitrification) أي إزالة النيتروجين. وهذه عملية هوائية حيث فيها مادة الميثانول (Methanol) العضوية تضاف إلى السائل الذي تم نترجته لتعمل

كمصدر للكربون. بكتريا إزالة النيتروجين (*Pseudomonas*) ومجموعات أخرى تستخدم الكربون من الميثانول والأكسجين من النترا في عملياتها للأيض (أي بناء الخلايا - Metabolic). أحد المنتجات لهذا التفاعل البيوكيميائي هو النتروجين الجزيئي الذي ينطلق إلى الجو في شكل غاز (N_2). مخطط لهذه العملية موضح في الشكل (٦/١٧).



شكل (٦/١٧) يمكن إزالة النيتروجين من مياه الصرف الصحي لمنع النمو الطحلبى فى المسطح المائى. العملية البيولوجية للنترجة وإزالة النترجة يجب أن تتم بعد تمام عملية الحماة المنشطة الأساسية.

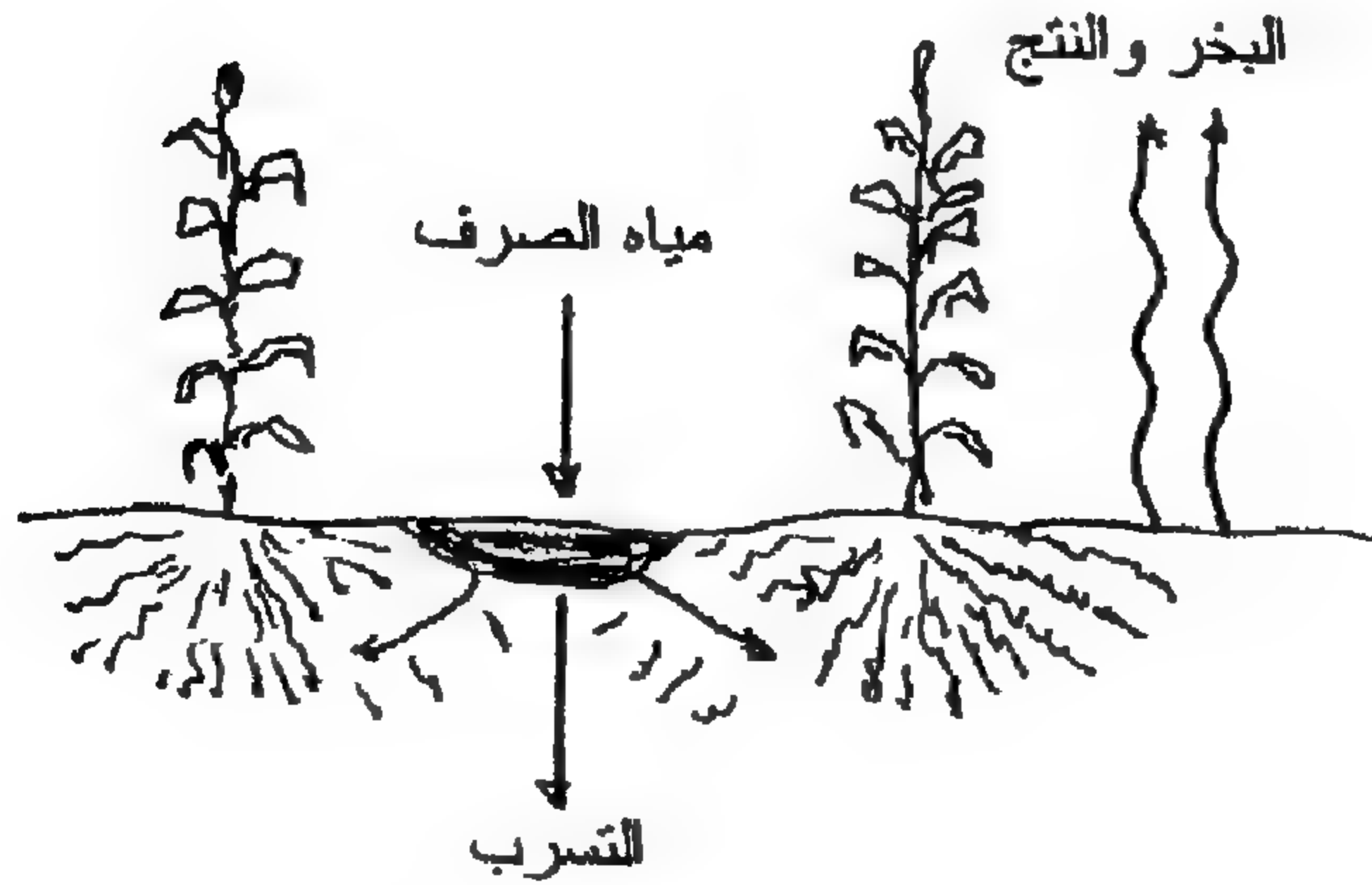
طريقة أخرى لإزالة النيتروجين تسمى تجريد الأمونيا (*Ammonia Stripping*). وهذه عملية طبيعية كيميائية وليست بيولوجية، وتتكون من خطوتين أساسيتين. أولاً، يتم رفع الرقم الهيدروجينى لمياه الصرف لتحويل أيونات الأمونيوم (NH_4^+) إلى غاز الأمونيا (NH_3). ثانياً، يتم اندفاع مياه الصرف فى شكل شلال (*Cascade*) إلى أسفل خلال برج مرتفع، هذا بسبب الاضطراب والاختلاط مع الهواء، حيث يمكن للأمونيا أن تتطلق كغاز. يتم تدوير أحجام ضخمة من الهواء خلال البرج لحمل الغاز إلى خارج الوحدة. الجمع بين تجريد الأمونيا مع إزالة الفوسفور باستخدام الجير المطفى كمادة ترويب يحقق إفادة، ذلك لأن الجير المطفى يمكن كذلك أن يعمل على رفع الرقم الهيدروجينى (pH) لمياه الصرف. تجريد الأمونيا أقل تكلفة مقارنة بعملية النترجة وإزالة النترجة، ولكنها لا تعمل بكفاءة جيدة فى ظروف المناخ البارد.

المعالجة الأرضية لمياه الصرف: (Land Treatment of Wastewater)

استخدام طريقة نشر مياه الصرف المعالج بيولوجياً على سطح الأرض. يمكن أن يوفر بديل مؤثر لطرق المعالجة المتقدمة المكلفة والمعقدة التى تحدث مثل نشر تدفقات

مياه الصرف الثانوية فوق سطح الأرض الخضراء وتسريبها خلال التربة. الفوائد الأخرى للمعالجة الأرضية هي أنه يمكنها توفير الرطوبة والمواد الغذائية لنمو النباتات وكذلك المساعدة في إعادة الشحن والتغذية للخزان الجوفي. في الواقع، فإن المعالجة الأرضية لمياه الصرف تسمح بتدوير وإعادة استخدام المياه والمادة الغذائية للاستفادة منها، حيث تصبح مياه الصرف مصدراً طبيعياً له قيمة والذي لا يتم التخلص منه ببساطة. ولكن يلزم مساحات كبيرة نسبياً من الأراضي لهذا النوع من المعالجة، وكذلك نوع التربة، والمناخ تعتبر عوامل حساسة بالنسبة للتحكم في جدوى وتصميم عملية المعالجة الأرضية.

توجد ثلاثة أنواع أساسية أو أشكال للمعالجة الأرضية وهي: المعدل البطيء، التسرب السريع في التربة، التدفق فوق سطح الأرض (Slow Rate, Rapid in Filtration and Over Land Flow). الحالات التي فيها تكون هذه الأنواع ذات أداء جيد وكذلك الأهداف الأساسية لهذه الأنواع من المعالجات تختلف. في نظام المعدل البطيء، والذي يسمى كذلك الري ونمو النبات (Irrigation, Vegetation) هو المكون الحساس لعملية معالجة مياه الصرف. رغم أن الغرض الرئيسي هو المعالجة والتخلص من مياه الصرف، فإن هناك فائدة أخرى وهي بالنسبة لاستخدام المياه والغذاء لإنتاج محاصيل زراعية (والتي هي الذرة والشعير والحبوب لتغذية الحيوانات). الغرض الآخر يمكن أن يكون المحافظة على مياه الشرب باستخدام مياه الصرف المعالجة ثنائياً في ري المساحات الخضراء والمساحات الريفية الطبيعية الأخرى. مخطط لنظام المعالجة الأرضية بالمعدل البطيء موضح في الشكل (٦/١٨).



شكل (٦/١٨) المعالجة الأرضية بطيئة المعدل

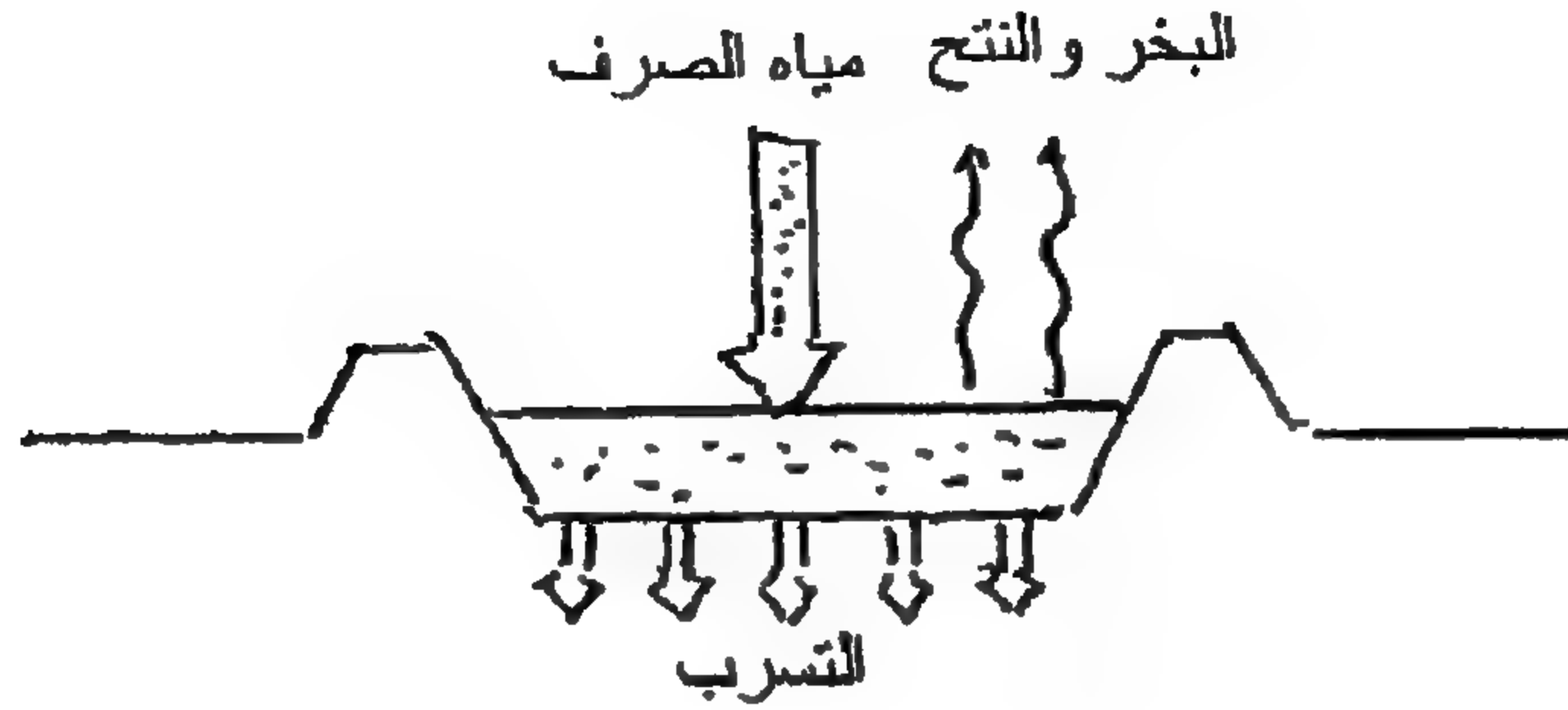
يمكن استخدام مياه الصرف على الأرض بنظم الرش أو بنظم النشر السطحي بطريقة القنوات (Ridge and Furrow). نظام الرش الأكثر شيوعاً يتكون من ذراع الرش الطويل الذى يدور على عجلة محمولة على محور مركزي. فى استخدامات طريقة القنوات تتدفق مياه الصرف بالجاذبية فى خنادق صغيرة. فى أى من الطريقتين فإن معظم المادة والغذاء يتم أخذه وامتصاصه خلال جذور النباتات التى تنمو.

ليس كل المياه المستخدمة فى الأرض بنظام المعدل البطئ يتم امتصاصها فبعض منها يتسرب خلال التربة إلى منطقة الخزان الجوفى. لا يسمح بالصرف العشوائى لمياه الصرف على سطح التربة، حيث التربة يجب أن يكون لها خاصية الصرف الجيدة. يمكن استخدام مياه الصرف على الأرض بمعدلات حتى ١٠٠ ملليمتر فى الأسبوع (٤ بوصات)، باستثناء شهور الشتاء فى المناخ البارد. من بين الأنواع الثلاثة الأساسية لنظم معالجة الأرض، فإن طريقة المعدل البطئ تمثل أفضل النتائج بالنسبة لمستويات المعالجة الثلاثية لإزالة الملوثات. كلا من المواد الصلبة العالقة والأكسجين الحيوى المطلوب ينخفض إلى حد كبير من خلال الترشيح لمياه الصرف والأكسدة البيولوجية للمواد العضوية فوق سطح الأرض لعدة سنتيمترات. يتم أولاً إزالة النيتروجين من خلال امتصاصه بواسطة النبات، والفوسفور فتتم إزالته من خلال إدمصاصه بواسطة التربة والنبات.

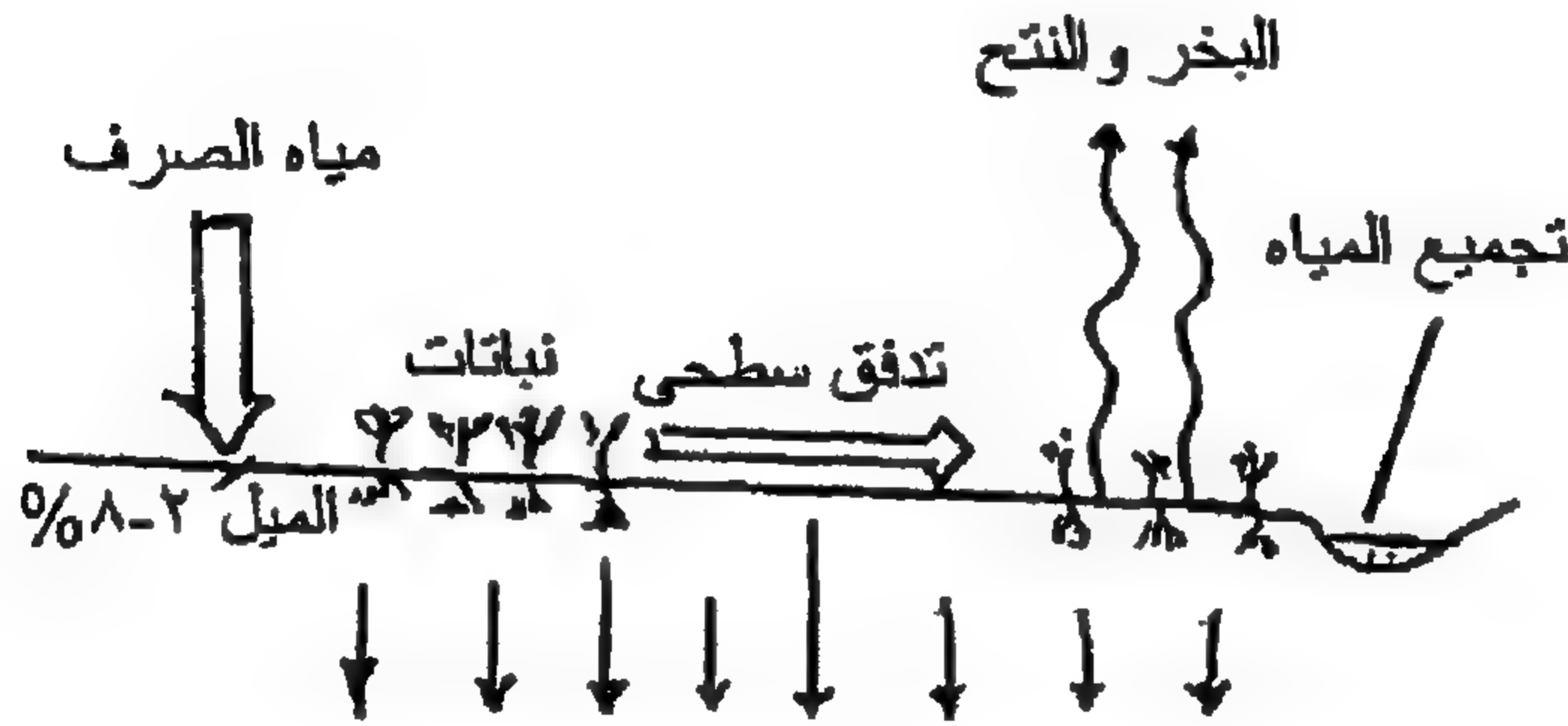
التسرب السريع والترشيح هو أحد صور المعالجة الأرضية وهدفه الرئيسى هو إعادة التغذية للخزان الجوفى وتوفير معالجة متقدمة لمياه الصرف. مخطط لطريقة التسرب والترشيح السريع (Rapid in Filtration) موضح فى الشكل (٦/١٩). معظم مياه الصرف الثانوية تتسرب إلى المياه الجوفية، قليل منها يتم امتصاصه بواسطة النبات. أداء التربة للترشيح والادمصاص يزيل معظم الحمل العضوى (BOD) والمواد الصلبة العالقة (TSS) والفوسفور من مياه الصرف، ولكن إزالة النيتروجين تكون ضعيفة نسبياً. يجب أن تكون التربة ذات نفاذية عالية للأداء الجيد لطريقة الترشيح السريع (Rapid in Filtration). عادة يتم استخدام مياه الصرف فى برك ضخمة تسمى أحواض إعادة الشحن (Recharge Basins).

نظام التدفق فوق سطح الأرض موضح فى الشكل (٦/٢٠). حيث يتم نشر مياه الصرف فوق سطح مائل حيث تتدفق خلال السطح المزروع بالنباتات إلى حفرة التجميع.

التنقية تتم بالعمليات الطبيعية والكيميائية والبيولوجية مع تدفق مياه الصرف في شكل طبقة رقيقة منحدره على سطح غير نفاذ نسبياً. يمكن استخدام التدفق فوق سطح الأرض لتحقيق كفاءة إزالة للحمل العضوي والنيتروجين تقارن الطرق الأخرى للمعالجة الثلاثية، ولكن إزالة الفوسفور تكون محدودة إلى درجة ما. المياه التي تم جمعها في الحفرة يتم صرفها إلى مسطح مائي قريب.



شكل (٦/١٩) الترشيح السريع



شكل (٦/٢٠) التدفق فوق سطح الأرض

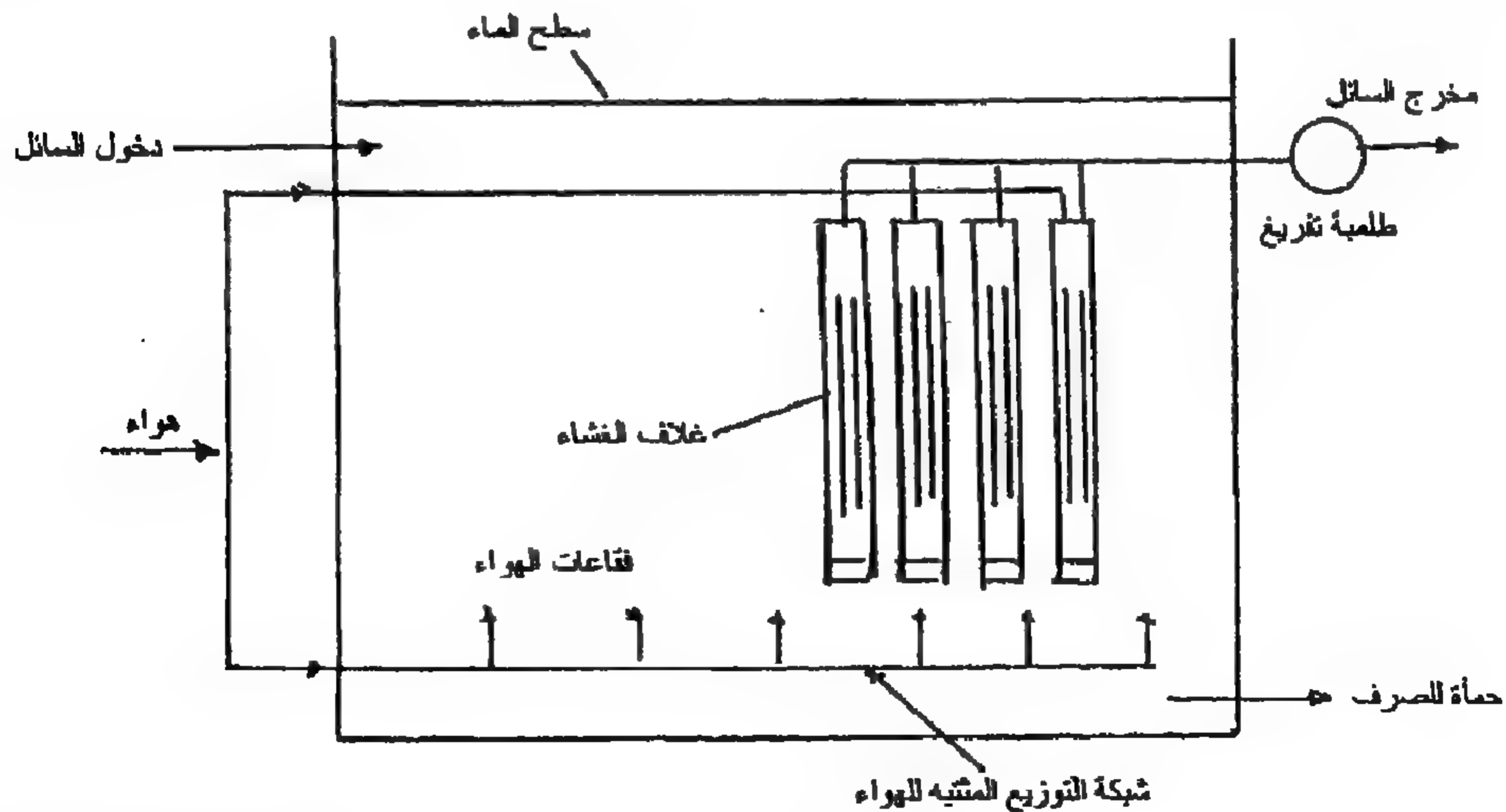
تقنيات معالجة جديدة: (New Treatment Technologies)

نظراً لزيادة الحرص في تدقيق معايير الصرف لمياه الصرف الصحي حيث تطلب ذلك تطوير وتحديث كثيراً من محطات معالجة مياه الصرف الصحي القديمة. هذا التوجه، بالإضافة إلى محدودية المساحات من الأراضي للتوسع للكثير من محطات المعالجة القديمة في المناطق الحضرية، فإن هذا كان الدافع للمهندسين للبحث عن تقنيات جديدة لمعالجات مياه الصرف الصحي. نوعين من التقنيات الجديدة التي سبق دراستها في تجارب نصف صناعية وهي عملية مفاعل الغشاء البيولوجي (Membrane Bioreactor) (MBR) Process ومفاعل زيادة ثقل الزغب (Ballasted Floc Reactor) (BFR).

عملية غشاء المفاعل البيولوجي : Membrane Bioreactor Process

في عملية غشاء المفاعل البيولوجي، تتم عمليات التهوية، الترسيب الثنائي، والترشيح في مفاعل بيولوجي واحد وليس في ثلاثة أحواض منفصلة، حيث يتم توفير المعالجة الثلاثية خلال مساحة صغيرة من الأرض مقارنة بالمعالجة التقليدية. أغشية الترشيح الميكروني بالشعيرة الجوفاء يتم تجميعها في حزم إلى وحدات (Modules) وتجميعها معاً في علب حافظة (Cassettes). ثم توصيلها معاً بواسطة أنبوبة تجميع (Header pipe) إلى طلمبات التفريغ السائل الثنائي، العلب الحافظة يتم غمرها في حوض التفاعل البيولوجي. طلمبات التفريغ (Vacuum Pumps) تدفع السائل الثنائي خلال الأغشية ولكن تترك المواد الصلبة العالقة، بما يغني عن الحاجة للمروق الثنائي والضخ للحمأة المعادة. مخطط العملية غشاء المفاعل البيولوجي موضح في الشكل (٦/٢١).

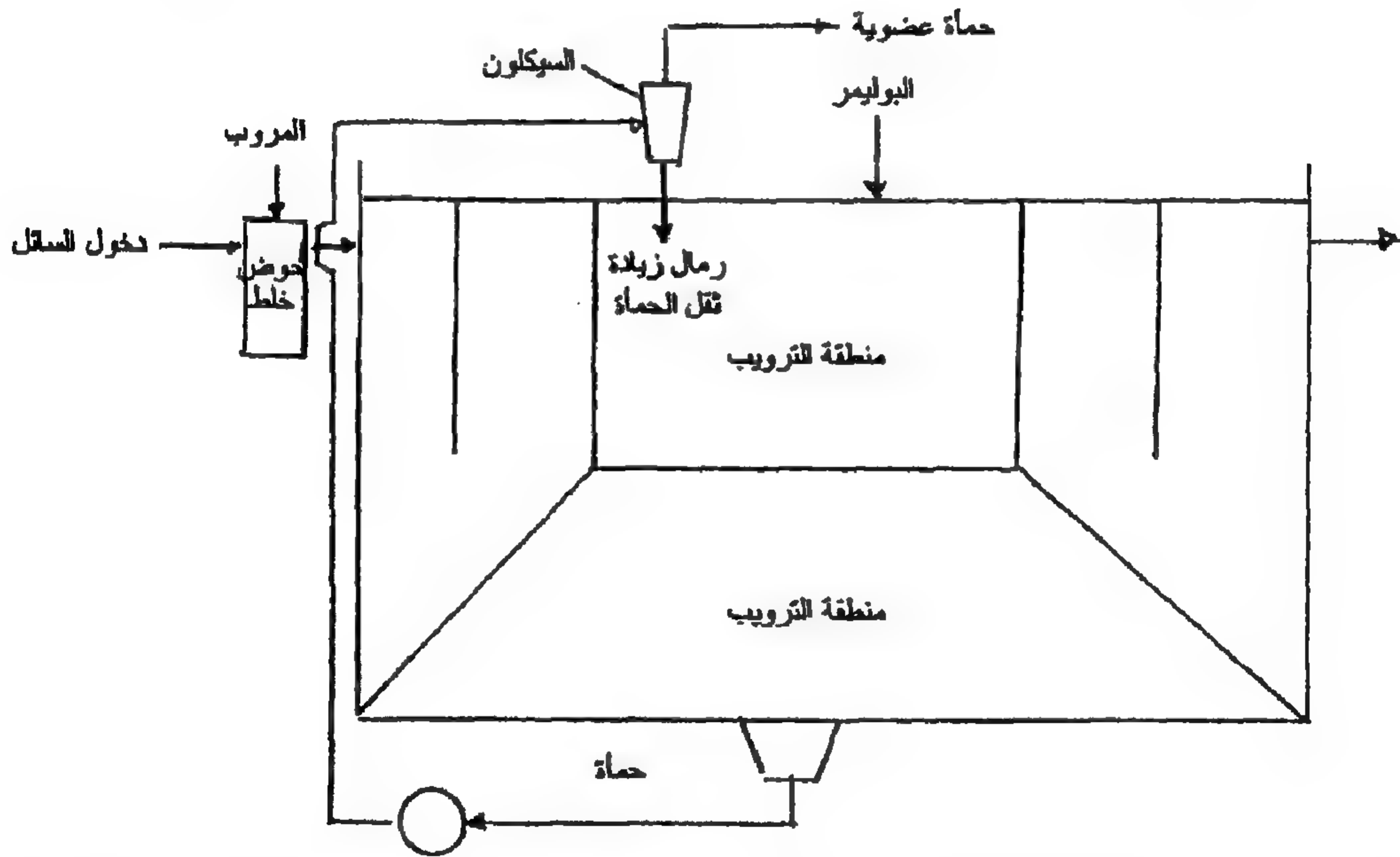
نظراً لأن الحمأة المنشطة تظل في الحوض، فإن مستويات المواد العالقة للسائل المخلوط (MLSS) تكون أعلى بكثير عن نظم الحمأة المنشطة التقليدية. وبذا يصبح من السهل المعالجة خلال حجم أصغر. يتم الإمداد بالهواء خلال فتحات ناشرات الفقاعات أسفل علب حفظ الغشاء، حيث يتم الإمداد بالأكسجين للمعالجة البيولوجية والتقليب لنظافة وغسيل الغشاء، ناشرات الفقاعات الصغيرة تستخدم كذلك لتوفير هواء أكثر للمعالجة. تستخدم كذلك الدورات الآلية للغسيل العكسي للتنظيف واستعادة نفاذية الغشاء عند فترات منتظمة. هذا النظام يمكن بناؤه جديداً أو بإعادة تثبيته في حوض حمأة منشطة قائم.



شكل (٦/٢١) مخطط لغشاء المفاعل البيولوجي، والذي يجمع الحمأة المنشطة مع الترشيح الغشائي لعمل المعالجة الثلاثية في وحدة معالجة واحدة

مفاعل زيادة ثقل الزغبات : (Ballasted Floc Reactor)

الترويب بالتثاقل هو عملية كيميائية - طبيعية التي تزيد معدل الترسيب للمواد الصلبة العالقة أكثر من ذلك لعمليات الترسيب الأولى التقليدية. يتم أولاً الخلط السريع للمروب مع مياه الصرف لعملية التزغيب والترويب. عندئذ يتم إضافة الرمل والبوليمر لتكوين جسيمات من الزغبات أثقل وأكبر، والتي ترسب سريعاً، البوليمر يربط الرمل مع جسيمات الزغبات العضوية. السائل الذي تم تزويقه يتم صرفه فوق هدار ويتم ضخ الحماة المرسبة إلى جهاز الفصل للرمال بواسطة قوة الطرد المركزي (Hydroclone). يتم تدوير الرمل ثانياً إلى المفاعل وضخ الحماة العضوية إلى عملية معالجة مناسبة شكل (٦/٢٢) يوضح مخطط لطريقة مفاعل زيادة ثقل الزغبات. كلاً من نظام غشاء المفاعل البيولوجي ومفاعل زيادة ثقل الزغبات يمكن استخدامها على التوازي للتوفير في تكاليف التصميمات. تم الانتهاء من التشغيل لمحطة معالجة ناجحة تجريبية في عام ١٩٩٩.



شكل (٦/٢٢) مخطط لمفاعل الترويب بزيادة ثقل الزغبات، حيث يضاف الرمل مع المروب والبوليمر لزيادة سرعة ترسيب الزغبات. يفصل الرمل مع الحماة العضوية في السيلكون ويعاد استخدامه

٥ - التخلص من مياه الصرف في الموقع :

(On Site Waste Water Disposal)

تم تناول طريقة مختلفة لمعالجة مياه الصرف الصحي، وهذه عادة تتم في موقع منفرد أو مركزي لمياه الصرف التي تنتج من مصادر مختلفة. عادة هذه المعالجات المركزية تمتلكها المحليات وتقوم بتشغيلها وصيانتها.

في المناطق القروية والضواحي حيث الكثافة السكانية ضعيفة فإنه لا يكون من المناسب إقتصادياً إقامة محطة معالجة مركزية ونظام تجميع لمياه الصرف. المنازل يمكن أن تكون متباعدة عن بعضها وحصة التكاليف لكل وصلة منزلية ستكون مرتفعة. البديل، النظام الذي يوفر صرف مياه الصرف في الأراضي يمكن توفيره لكل منتج لمياه الصرف الصحي. وهذا يسمى التخلص من مياه الصرف في الموقع تحت السطح.

يوجد دائماً ميل قوى لإنشاء محطة معالجة مركزية في المناطق الحضرية. الصرف تحت السطحي يعتبر شكل مؤقت للتخلص من مياه الصرف، وبسبب الأعطال الكثيرة في هذا النظام، فإنه يعتبر غير مرغوب فيه ولا يعتمد عليه. ولكن في حالة وضعه في المكان المناسب، وتصميمه وإنشاؤه جيداً، فإن نظام الصرف تحت السطحي يمكن أن يعمل بكفاءة للتخلص من مياه الصرف الصحي على أساس الفترات والمدد الطويلة. حالياً، حوالي ٢٥% من المساكن الجديدة في أمريكا تستخدم الصرف تحت السطحي.

تقييم الموقع : (Site Evaluation)

طبوغرافية السطح وكذلك الظروف تحت السطحية عند الموقع المقترح تعتبر هامة بالنسبة لتخطيط وتصميم التخلص تحت السطحي من مياه الصرف. من بين العوامل الهامة المتعلقة للأداء الجيد للنظام تحت السطحي هو شكل التربة (Texture) التي سيتم فيها صرف مياه الصرف. تحديداً، النفاذية أو التوصيل الهيدروليكي للتربة يجب أن تكون في المجال المقبول. إذا كانت منخفضة جداً، فإن مياه الصرف سوف لا تكون قادرة على التسرب بسرعة للتخلص المؤثر. إذا كانت مرتفعة جداً فإنه قد لا يتوفر الوقت الكافي للتنقية لمياه الصرف قبل وصولها إلى خط المياه الجوفية.

التربة ذات الحبيبات الكبيرة نسبياً، والتي تحتوي على نسبة عالية من الرمل عادة تكون ذات توصيل هيدروليكي مرتفع. وهي عموماً مناسبة للصرف تحت السطحي لمياه الصرف طالما أن معدل التسرب ليس كبيراً. التربة ذات الحبيبات الدقيقة مثل حبيبات

الرمل والغرين الدقيقة جداً توفر مقاومة أكبر لتدفق المياه. التربة المحتوية على نسبة عالية من الطفل غير مقبولة عادة للصرف تحت السطحى بسبب الانخفاض الشديد فى نفاذيتها. بالإضافة إلى التوصيل الهيدروليكي، فإن العمق حتى المياه الجوفية وكذلك حتى الطبقة الصخرية تعتبر عوامل هامة بالنسبة لاختبار موقع وتصميم نظام الصرف تحت السطحى. عموماً الطبقة الصخرية، وخط المياه المرتفع الموسمي المرتفع يجب ألا يقل عن ٣ متر تحت نظام الصرف. هذه القيم سوف تتغير طبقاً لمعايير الصحة المحلية والقوانين والمعايير البيئية.

قبل اتخاذ القرار بالنسبة لاستخدام نظم الصرف تحت السطحى، يكون من الضروري الدراسة الجيدة للموقع وظروف التربة وخرائط بيانات التربة من المصادر المحلية يتم دراستها بالنسبة للبيانات الأولية. فى الموقع يتم عمل حفرة اختبار كبيرة لعمق حوالى ٤ أمتار. الملاحظة البصرية لشكل التربة، العمق إلى المياه الجوفية، والعمق إلى الطبقة الصخرية يتم تسجيلها.

اختبار التسرب : (Percolation Test)

لتقدير قدرة التربة على نقل التدفق للمياه يتم عمل اختبار التسرب الذى يوفر القياس الغير مباشر لنفاذية التربة أو التوصيل الهيدروليكي. عادة يلزم عدة اختبارات تسرب منفصلة قريباً من نظام الصرف تحت السطحى المقترح، وخاصة إذا كانت حالات التربة شديدة التغير فى الموقع. لاختبار التسرب ببساطة يقيس المعدل الذى تتسرب به المياه فى التربة فى ثقب اختبار. ويسمى أحياناً اختبار التسرب بسقوط الضغط (Falling Head)، ذلك لأن السقوط فى منسوب الماء فى ثقب الاختبار الجارى قياسه. بالإضافة إلى توفير البيانات عن ما إذا كان يمكن استخدام النظام تحت السطحى التقليدى، فإن اختبار التسرب يوفر البيانات لتصميم حجم حقل التسرب (Leaching Field). عموماً اختبار التسرب يجب تنفيذه بواسطة عناصر مؤهلة تحت إشراف مهندس متخصص ومراقبة مندوب من الإدارة الصحية. اختبارات التسرب يمكن تلخيصها كالاتى :

١ - ثقب الاختبار : (Test Hole)

يتم حفر ثقب الاختبار بقطر ٢٠ سم (٨ بوصات) فى التربة إلى العمق لمجال التسرب المقترح عادة حوالى ٠,٦ متر (٢ قدم). يمكن عمل ذلك على عرق ناتئ ضحل (Shallow Ledge) قريباً من حفرة الاختبار. أجناب الثقب يمكن عندئذ خدشها بآلة حادة،

يمكن وضع بوصة أو اثنين من الزلط الفاير عند قاع الثقب لمنع التقلب (Scour) فيما بعد.

٢ - تشبع ثقب الاختبار بالماء : (Soaking The Test Hole)

يتم تغذية وتشبع الثقب بملئه بالماء النقي. بالنسبة للتربة الرملية، يسمح لكل الماء بالصرف، بالنسبة للتربة الغرينية (Silty) أو ذات المحتوى العالي من الطفلة، فإنه يسمح للماء ليظل في الثقب لمدة ليلة ثم يتم عمل الاختبار في اليوم التالي.

٣ - قياس معدل التسرب :

بعد ثبات معدل السقوط، يتم إعادة ملء الثقب حتى عمق ٢٠ سم (٨ بوصة). الزمن اللازم لسقوط منسوب الماء ١٥ سم (٦ بوصات) يتم تسجيله. في التربة بطيئة التصريف والمتماسكة، يمكن قياس سقوط الماء في فترات كل ٣٠ دقيقة بدلاً من الانتظار حتى السقوط ١٥ سم.

٤ - حساب معدل التسرب :

معدل التسرب لكل ثقب اختبار يتم حسابه بالدقيقة لكل سقوط واحد بوصة لمنسوب الماء، أو لدقائق لسقوط ٢,٥ سم. طالما أن معدل التسرب لا يتغير بأكثر من ٢٠ دقيقة، فإن معدل التسرب للمنطقة يتم الحصول عليه بمتوسط المعدلات من كل ثقب اختبار. خلاف ذلك، الاختلافات في نوع التربة يتم ملاحظتها.

مثال :

أثناء اختبار التسرب، لوحظ أن منسوب الماء في ثقب الاختبار سقط بمعدل ثابت $\frac{3}{4}$ بوصة عند فترات كل ١٠ دقائق. أحسب معدل التسرب بالدقيقة للبوصة.

الحل :

معدل التسرب بالدقيقة/البوصة، يمكن حسابه ببساطة بقسمة الفترة الزمنية بما يقابلها من سقوط ثابت في منسوب الماء.

$$\text{معدل التسرب} = 10 \text{ دقيقة} \div \frac{3}{4} \text{ بوصة} = 14 \text{ دقيقة/البوصة (تقريباً)}$$

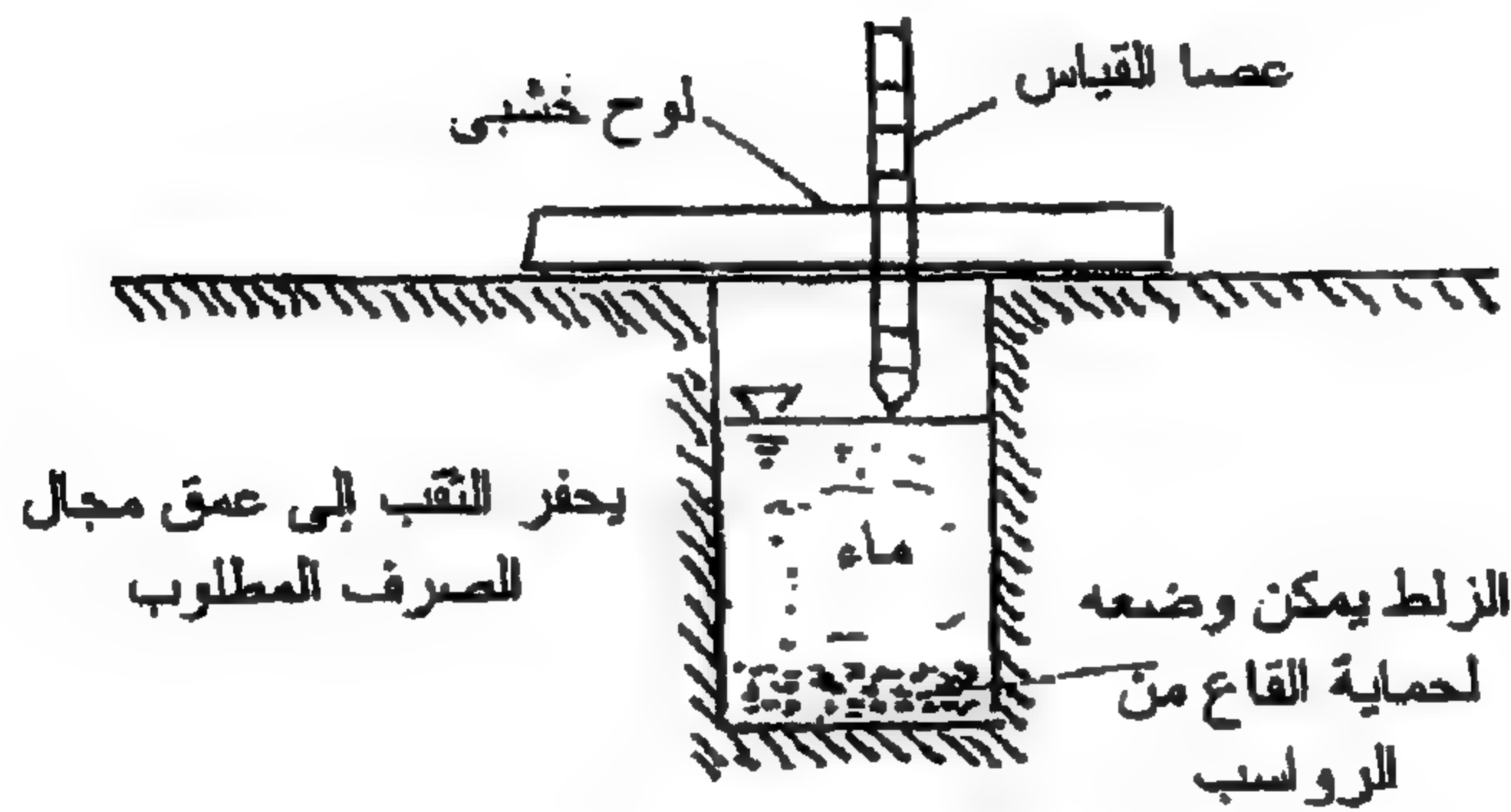
في هذا المثال السقوط في منسوب الماء تم قياسه بفواصل عشرة دقائق، يمكن استخدام فواصل زمنية أقل في حالة سقوط المنسوب ببطء.

أحد الطرق المستخدمة لقياس وتوقيات سقوط الماء في ثقب الاختبار موضح في الشكل (٦/٢٣). يتم ببساطة تعليق عصا القياس المدرجة على لوح خشب موضوع فوق ثقب الاختبار.

معالجة وإعادة استخدام مياه الصرف الصحي

هذا اللوح الخشبي يعمل كمؤشر ثابت للمنسوب لأخذ القياس عند مجرد اختراق عصا القياس سطح الماء. التجهيزات التي تعمل بالبطارية التي تسمى (Percometers) متاحة تجارياً. عملها مبني على حقيقة أن الماء موصل كهربى، عند سقوط منسوب الماء أسفل نهاية المحبس الموضوع في بئر الاختبار، فإن المقياس يبين انقطاع الدائرة، والفاصل الزمني للسقوط السابق تحديده في منسوب الماء يمكن عندئذ قياسه.

عموماً إذا كان معدل التسرب أبطأ من ٦٠ دقيقة/البوصة (وفي بعض الحالات يمكن أن يكون ٤٠٠ دقيقة)، فإن التربة تعتبر غير مناسبة لنظم التحليل التقليدية (Septic System) إذا كان المعدل أسرع من واحد دقيقة/البوصة، فإن الصرف تحت السطحي يمكن كذلك منعه وذلك لحماية نوعية المياه الجوفية.



شكل (٦/٢٣) اختبار التسرب يمكن عمله باستخدام اللوح الخشبي الأفقى وعصا القياس

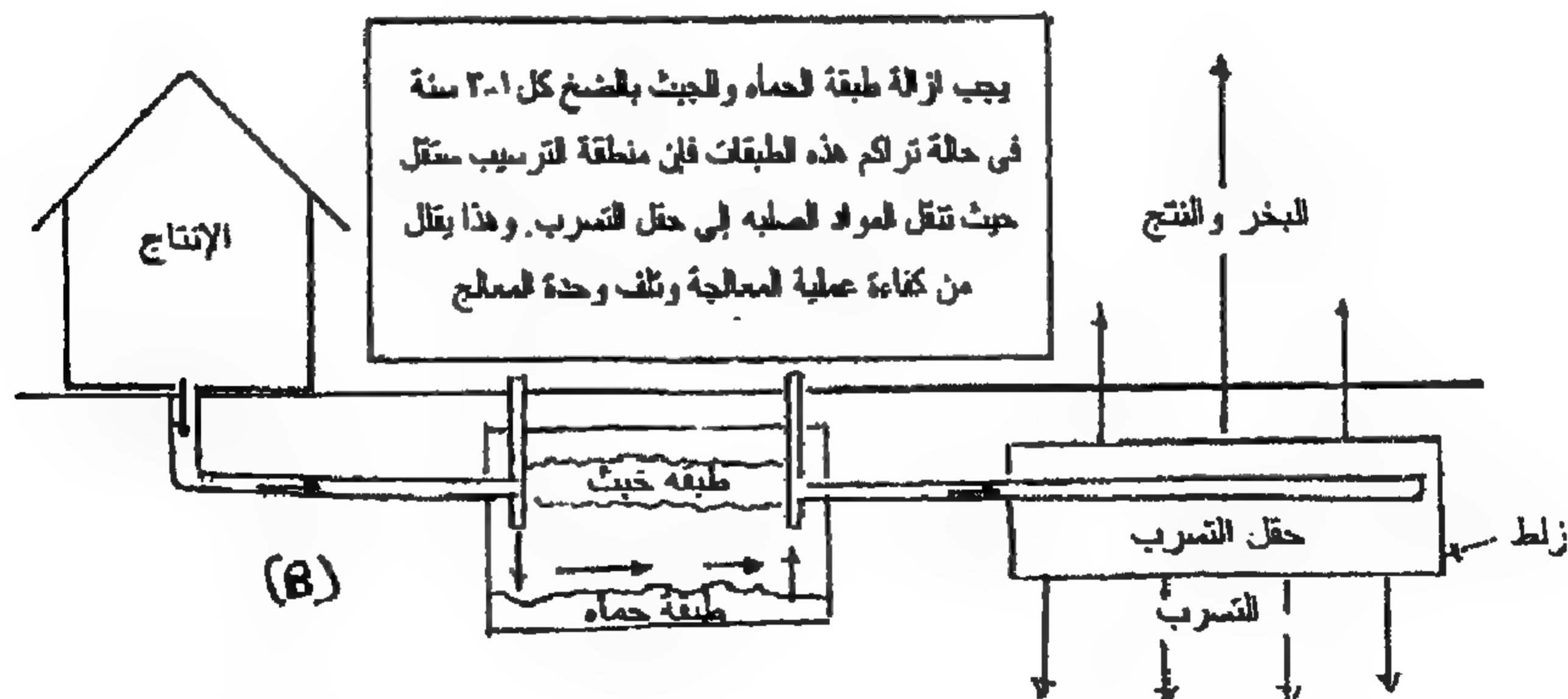
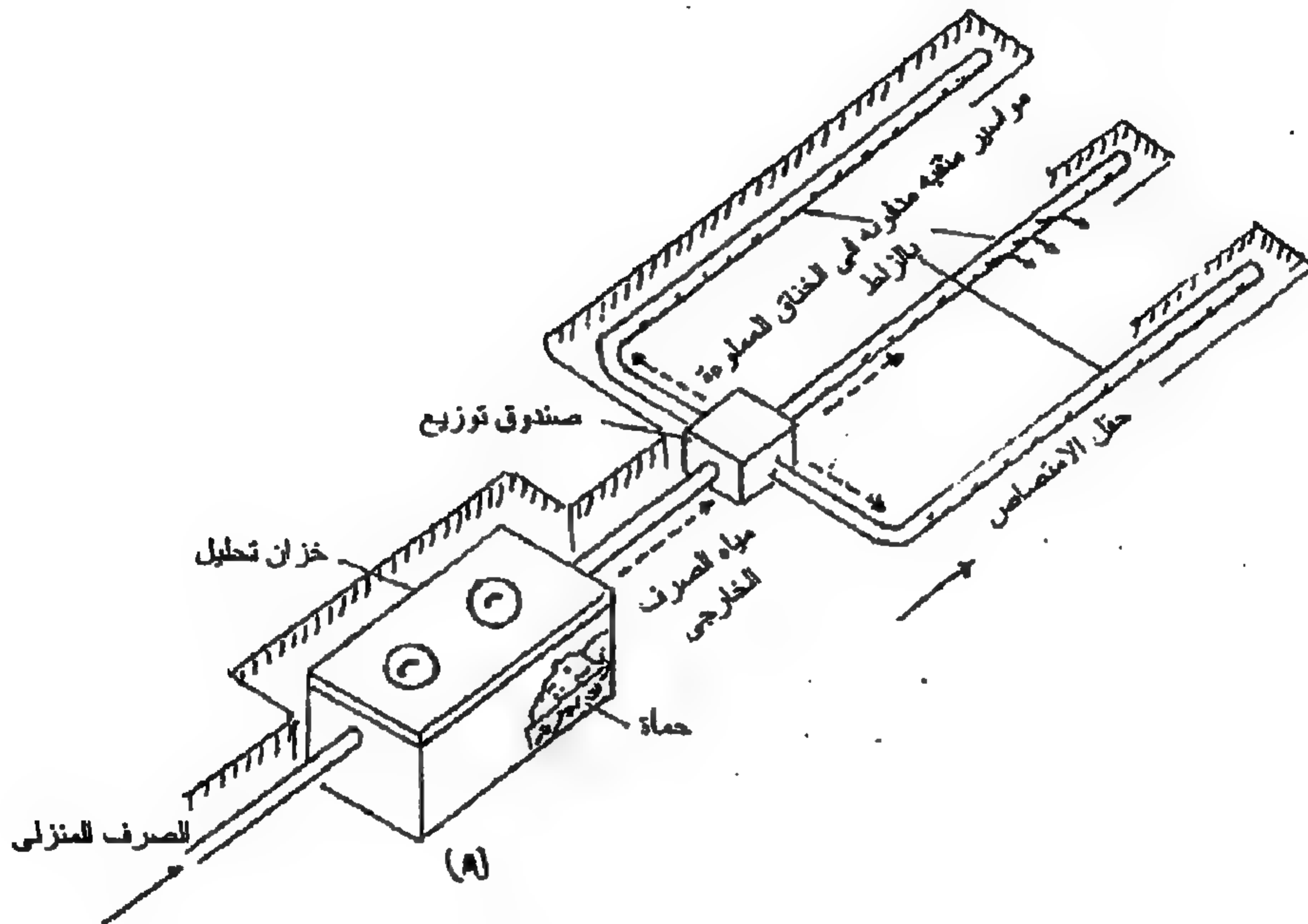
نظم التحليل : (Septic Systems)

النوع الشائع كثيراً لنظام الصرف تحت السطحي يشمل خزان التحليل، وحقل الامتصاص أو الارتشاح (Absorbption or leaching field) كما هو موضح فى الشكل (٦/٢٤). بالاختصار يعمل الخزان على تخزين المواد الصلبة الراسبة والطافية وحقل الامتصاص على توزيع السائل حيث يمكنه التسرب خلال التربة. تحلل المواد العضوية يحدث فى الظروف اللاهوائية، لذلك كانت التسمية نظام التحليل (Septic System).

خزان التحليل : Septic Tank

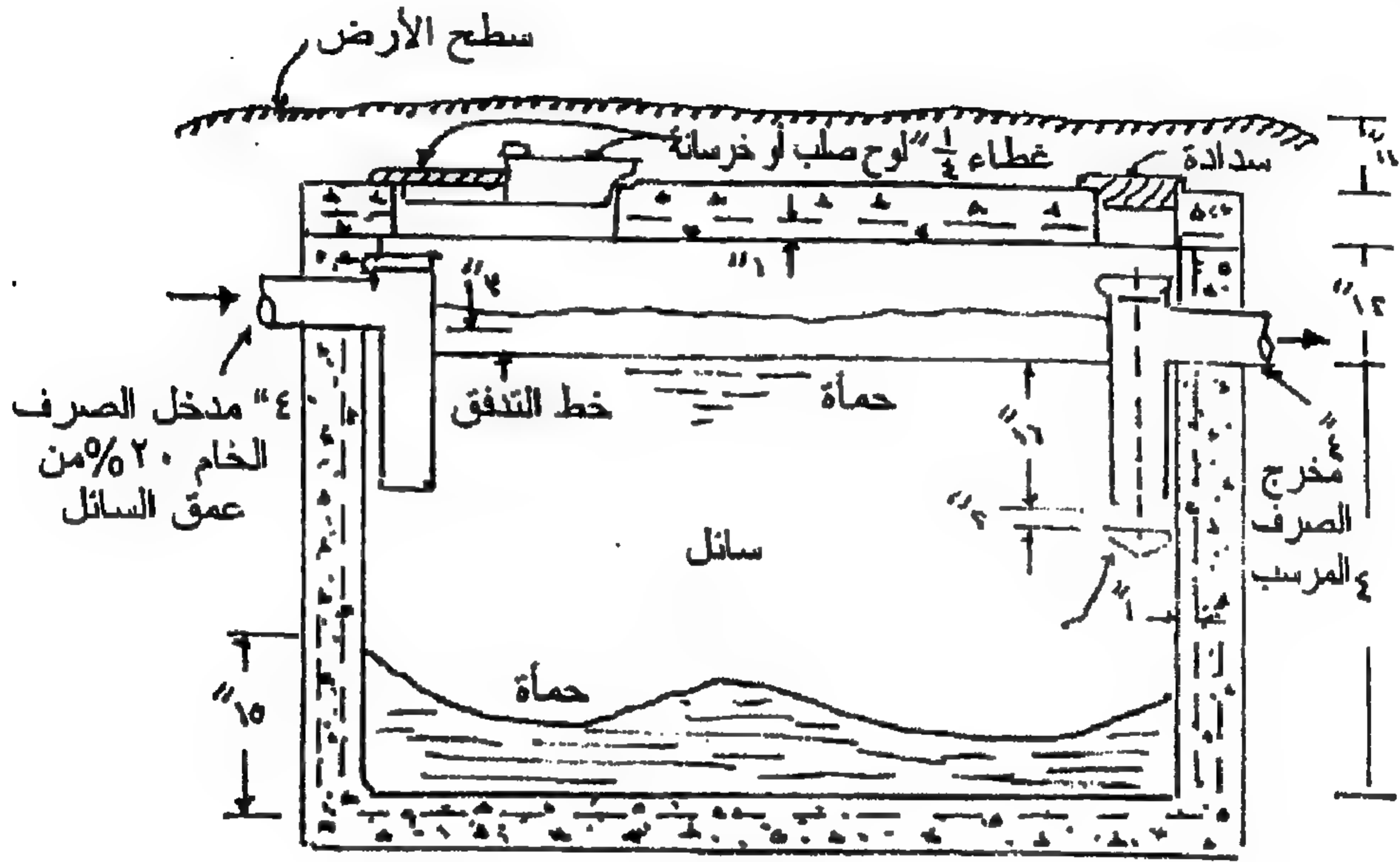
يجب إزالة المواد الصلبة القابلة للتسيب والمواد الطافية من مياه الصرف الصحى الخام قبل صرفها فى التربة. يستخدم خزان تحليل مدفون لتوفير المعالجة الأولية الضرورية كما يعمل كحوض تجميع للحماة. المواد الصلبة الطافية والشحوم يتم حجزها بواسطة عوائق (Baffles) عند

مخرج الحوض ومنعها من دخول تربة الامتصاص. المواد الصلبة القابلة للترسيب تتراكم في منطقة الحماة عند قاع الخزان، والسائل الأولي يتدفق إلى الخارج إلى مجال الامتصاص بالتربة. بعض من الحماة يتحلل تحت الظروف اللاهوائية، ولكن أحيانا تتراكم المواد الصلبة التي لم تتحلل ويرتفع منسوب الحماة. لضمان الأداء الجيد وطول فترة العمل، فإن خزانات التحليل يتم ضخها للنظافة على أساس روتيني، كل عدة سنوات. في حالة التراكم للكثير من الحماة في الخزان، فإن المواد الصلبة سوف تحمل مع السائل بما يسبب انسداد في تربة الامتصاص. هذا واحد من أهم أسباب فشل خزان التحليل.



شكل (٦/٢٤) (A) مخطط للصرف تحت السطحي لمياه الصرف باستخدام خزان تحليل وحقل امتصاص (B) تدخل مياه الصرف حيث يتسرب معظمها خلال الزلط حيث توجد جيوب الأكسجين التي تنشط البكتريا الهوائية. الفوسفور والنيتروجين يستهلك بواسطة النباتات وجزء من الرطوبة يعود للجو.

تصنع خزانات التحليل بأشكال مختلفة وأحجام مختلفة. نموذج للخزان الصغير المستطيل موضح في الشكل (٦/٢٥). أدنى حجم للخزان لمنزل مستقل هو عموماً حوالي بطاقة سائل ٣٨٠٠ لتر. خزانات التحليل يجب أن تكون محكمة ضد تسرب الماء ولها اقتراب وسهولة للتفتيش والنظافة. قمة الخزان تكون حوالي ٣٠ سم (١ قدم) أسفل سطح الأرض.



شكل (٦/٢٥) مقطع في خزان التحليل

حقل الارتشاح (Leaching Field)

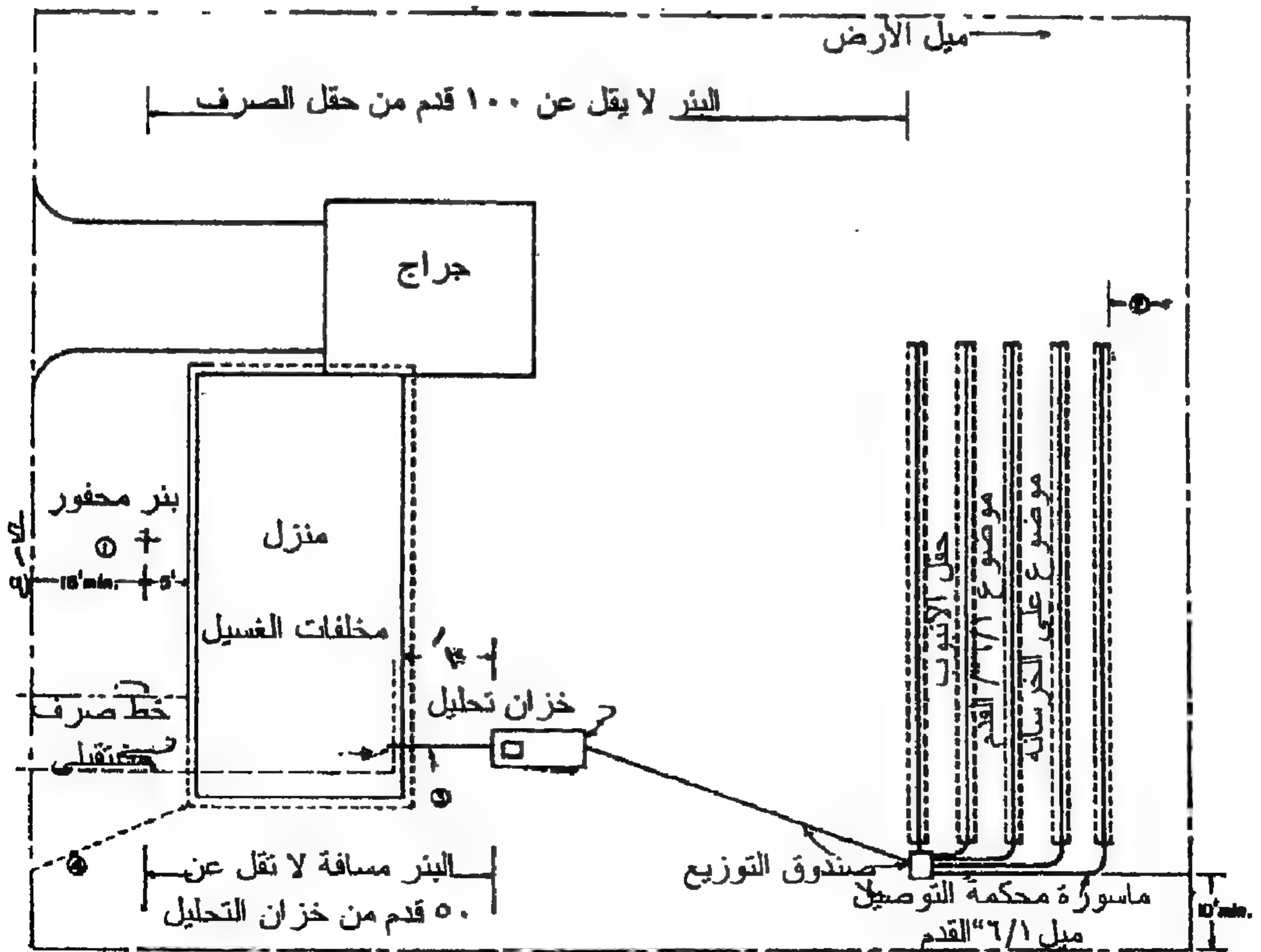
المياه الخارجة من خزان التحليل تتدفق إلى حقل الارتشاح، والذي يقوم بتوزيع السائل بانتظام على مساحة حجميه. من حقل الارتشاح هذا فإن السائل يتسرب إلى أسفل حتى خط المياه الجوفية. مع تدفق السائل خلال مسام التربة، فإنه يتم إزالة الكائنات الدقيقة والملوثات الأخرى من الماء. كلاً من الترشيح والأمصاص، التحلل البيولوجي يمكن أن يلعب دوراً في تنقية مياه الصرف قبل أن يتم تخفيفها في المياه الجوفية.

النوع العادي لحقل الارتشاح يتكون من اثنين أو ثلاثة من الخنادق المنفصلة مع المواسير التي تقوم بنشر مياه الصرف. قبل الوصول إلى الخنادق. تتدفق مياه الصرف نحو صندوق التوزيع. الذي يقوم بالتوزيع المتساوي لمياه الصرف على كل خندق. من

الناحية الصحية يجب أن يكون الفاصل لا يقل عن ٣٠ متر بين حقل الارتشاح وبئر الإمداد بالمياه. نموذج لوضع خزان التحليل موضح في الشكل (٦/٢٦).

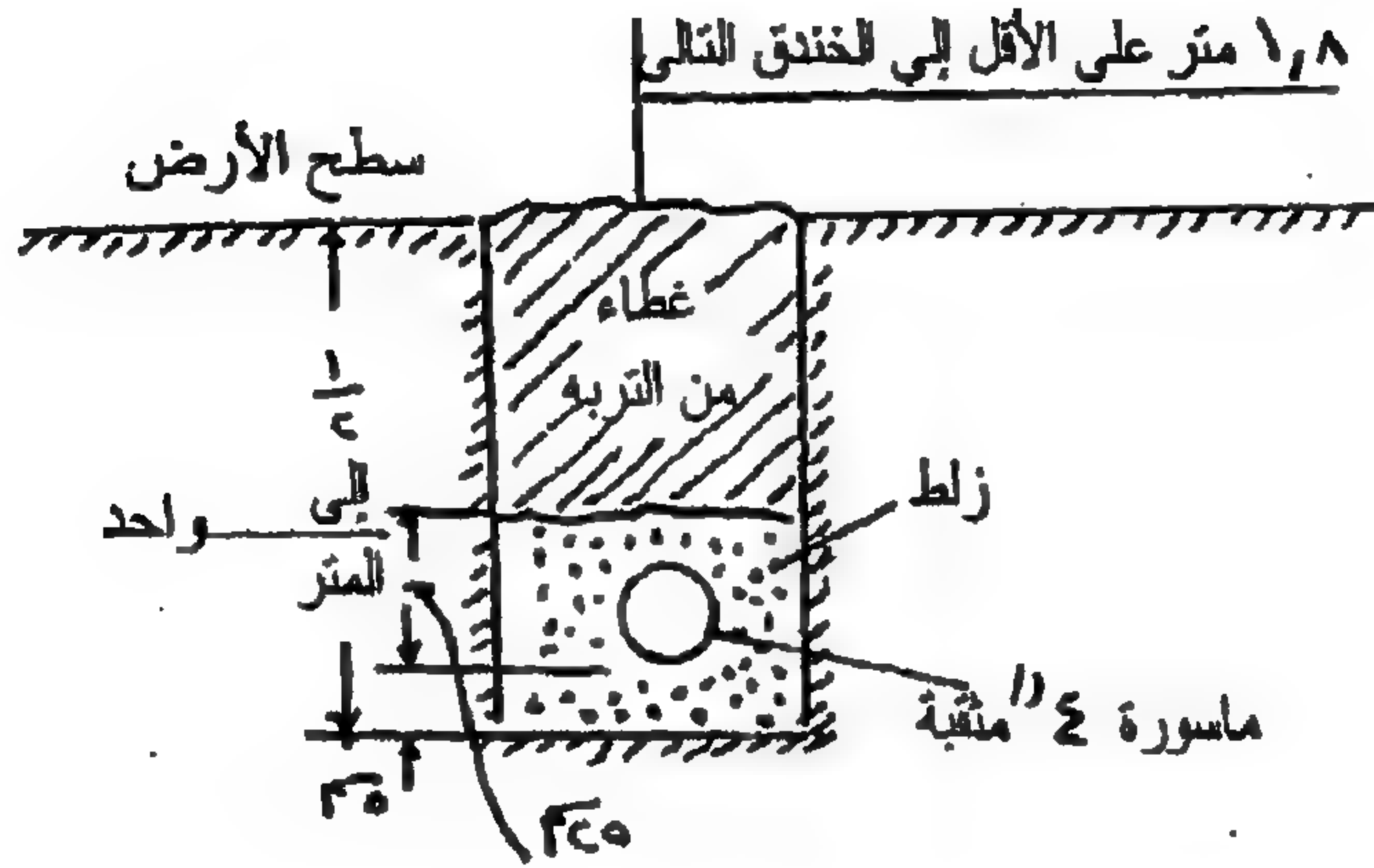
خنادق الصرف في حقل الارتشاح :

خنادق الصرف في حوض الارتشاح عبارة عن حفر ضحلة بعرض لا يقل عن ٣٠ سم (١ قدم) وبعمق لا يقل عن ٦٠ سم (٢ قدم). يتم وضع حوالى ١٥ سم من الزلط (٦ بوصة) على قاع الخندق لحمل خط المواسير المتقّب لتوزيع سائل الصرف. المواسير يتم تغطيتها بالزلط الزائد ثم بالقش أو الورق لمنع الطبقة الأخيرة من تربة الردم من اختراق مسام الطبقة الزلطية. ميل المواسير يكون عموماً حوالى ٠,٠٥%. أو أقل في الأماكن ذات الميل الحاد نسبياً، توضع الخنادق موازية للكننورات الأرضية تقريباً. الخنادق المستقلة أو الفرعات يكون طولها لا يقل عن ٣٠ متراً (١٠٠ قدم) وتكون بفواصل بين كل منها بمسافة لا تقل عن ١,٨ متر. مثال لمقطع الخندق موضح في الشكل (٦/٢٧).



شكل (٦/٢٦) شكل يوضح الصرف تحت السطحي في الموقع

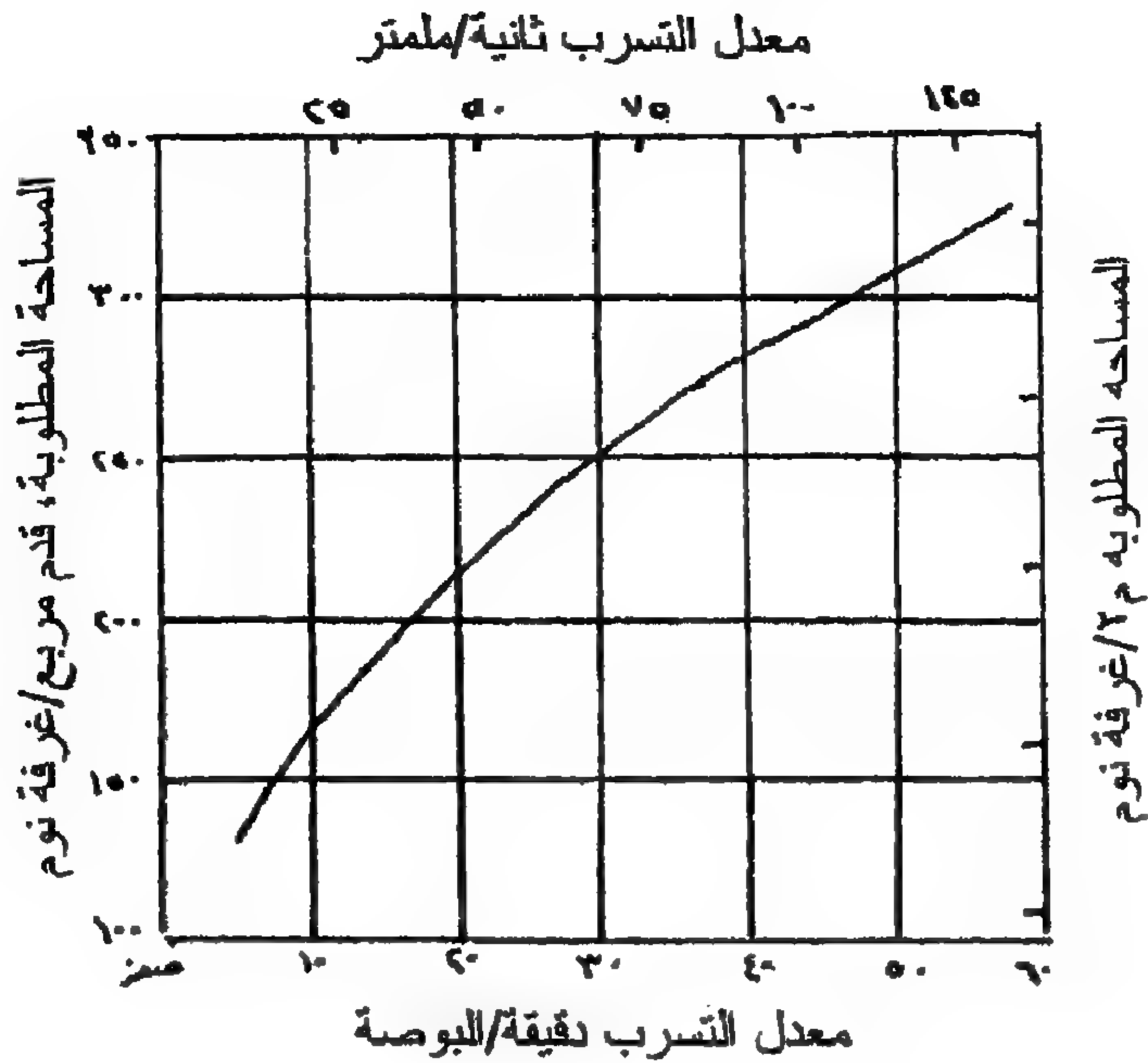
- ١- الصرف المانع للتسرب خلال ٢٥ قدم من البئر .
- ٢- الحقل يجب أن يكون ٥٠ قدم أو أكثر من سطح مائى أو ١٠ قدم أو أكثر من أى خط مياه تحت الضغط.
- ٣- مواسير الزهر بوصلات مطاط خلال ٥٠ قدم من أى بئر.
- ٤- مسار الصرف بعيداً عن مصدر الصرف من البئر.



شكل (٦/٢٧) مقطع خلال خندق الامتصاص

تصميم حقل الامتصاص يشمل تعيين عدد الأطوال المطلوبة من الخنادق. البيانات من اختبار التسرب تعتبر هامة جداً بالنسبة لهذا. بالنسبة للنظم السكنية يمكن استخدام مخطط مثل الموضح فى الشكل (٣٤ /) بواسطة المصمم، المتطلبات تختلف بعض الشيء للنظم التى تخدم المؤسسات التجارية وطرق التصميم الحقيقية تختلف على المستوى القومى.

كما هو واضح من الشكل (٦/٢٨) مساحة الامتصاص المطلوبة ترتبط بتسرب التربة. مساحة الامتصاص يمكن تحويلها إلى قدم طولى من الخندق كما هو موضح فى المثال التالى.



شكل (٦/٢٨) نموذج لمساحة الامتصاص أو الارتشاح للمساكن المستقلة، إجمالى المساحة المطلوبة يتوقف على معدل التسرب وعدد غرف النوم فى المنزل

مثال:

منزل من أربع حجرات يقع فى مكان له معدل تسرب ٣٠ دقيقة/ البوصة. كم عدد الفرعات الجانبية المطلوبة إذا كان عرض الخندق ٢ قدم؟ وما هى الأبعاد الكلية لحقل الارتشاح؟

الحل :

من الشكل (٦ / ٢٨) يتم تعيين أنه مطلوب ٢٥٠ قدم مربع مساحة امتصاص لكل حجرة. بالنسبة لأربع حجرات يكون المطلوب $250 \times 4 = 1000$ قدم مربع مساحة امتصاص مطلوبة لحقل الارتشاح.

حيث أن عرض الخندق هو ٢ قدم فإنه توجد حاجة لـ ١٠٠٠ قدم مربع $\div 2$ قدم = خندق بطول ٥٠٠ قدم. كذلك نظراً لأن أقصى طول للفرعة الجانبية هو ١٠٠ قدم، فإنه توجد حاجة إلى $500 \div 100 = 5$ فرعات جانبية. كل فرعة تبعد عن الأخرى ٥ قدم. حيث أنه يوجد ٤ فواصل بين خمسة فرعات جانبية، فإن عرض حقل الامتصاص سيكون $4 \times 6 = 24$ قدم.

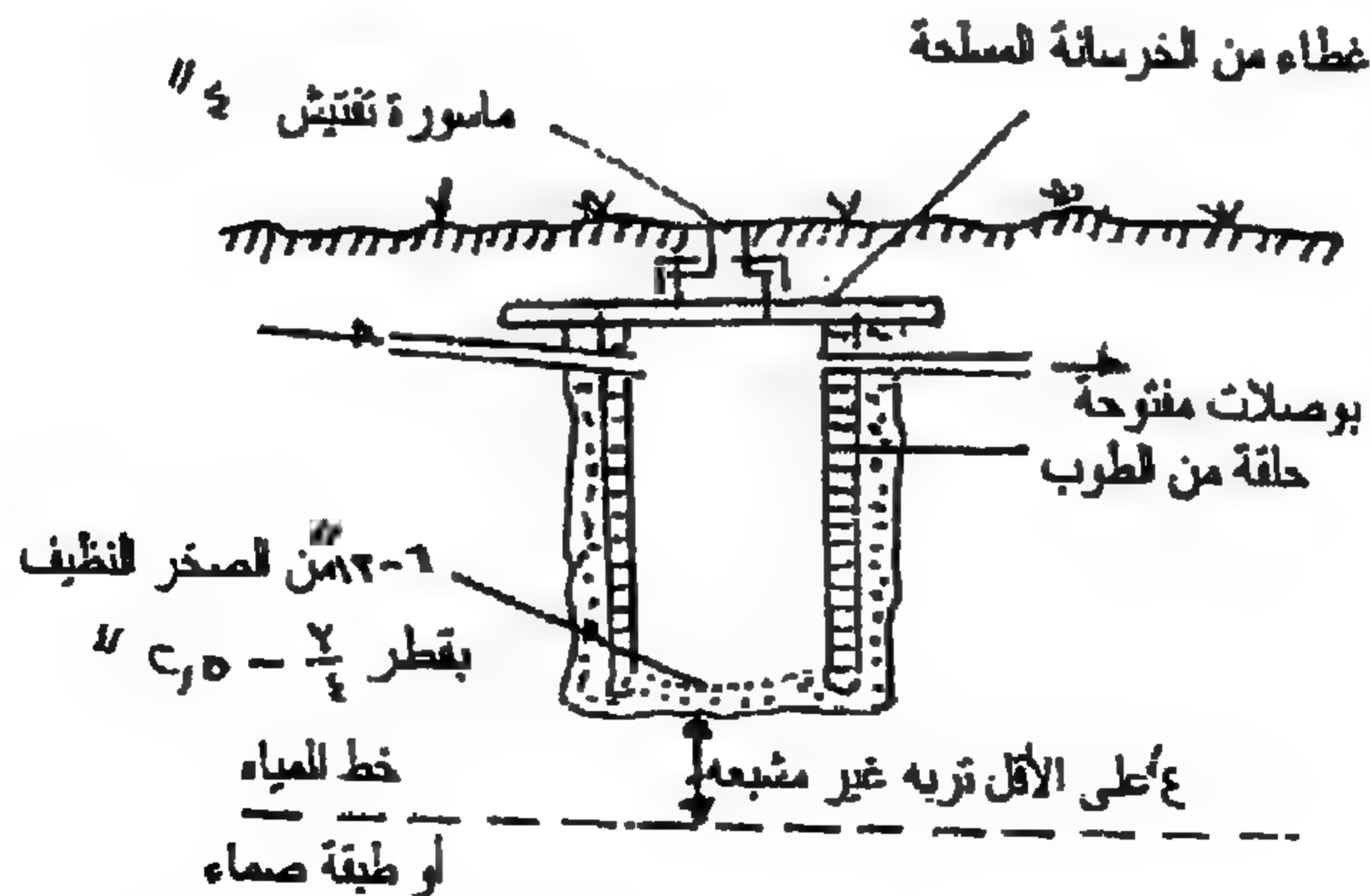
كل حقل الارشاح سيشغل $24 \times 100 = 2400$ قدم مربع من الموقع (0.22 هكتار أو 0.0055 فدان).

الفشل الذي يحدث لخزان التحليل هو أمر عادي. الفشل للنظام يشمل الفيض لمياه الصرف من خزان التحليل حول الأرض وإلى المسطح المائي، حيث يسبب ذلك مشاكل للصحة العامة وتلوث الماء. مثل هذا الفشل يمكن منعه. كل خزانات التحليل تحتاج إلى الضخ طبقاً لتوقيعات معينة لإزالة تراكبات الحمأة الراسبية. وكذلك لمنع التدفق العلوي للمواد الصلبة إلى حقل الصرف. إهمال هذه المتطلبات البسيطة هو من الأسباب المسببة لانسداد حقل الصرف وفشل النظام. إساءة استخدام نظام التحليل، باستخدامه لصرف الكيماويات أو أى مخلفات غير مناسبة، وكذلك لاستخدام الزائد للمياه المنزلية يمكن أن يساهم في حدوث الفشل.

حفر التسرب : (Seepage Pits)

عندما يكون الموقع صغيراً بالنسبة لحقل الارشاح التقليدي، فإنه يمكن أحياناً استخدام حفر أعمق التي تشغل مساحة أقل للصرف تحت السطح. هذه الحفر تسمى حفر التسرب أو الآبار الجافة. يمكن كذلك اختبارها بدلاً من الخنادق بهدف استخدام تربة أفضل وأكثر عمقا.

المياه الخارجة من خزان التحليل تتدفق نحو حفرة، حيث يتم تخزينها حتى تتسرب خلال الحوائط الجانبية والقاع. مقطع في نموذج لحفرة التسرب موضح في الشكل (٦/٢٩). رغم أن استخدام حفرة للتسرب غير مفضل من ناحية الصحة الوقائية، إلا أنه مقبول أحياناً في حالة التدفقات الصغيرة لمياه الصرف. من المهم جداً أن خط المياه العلوي لا يقل عن ١,٢ متراً أسفل قاع حفرة التسرب، لحماية نوعية المياه الجوفية.



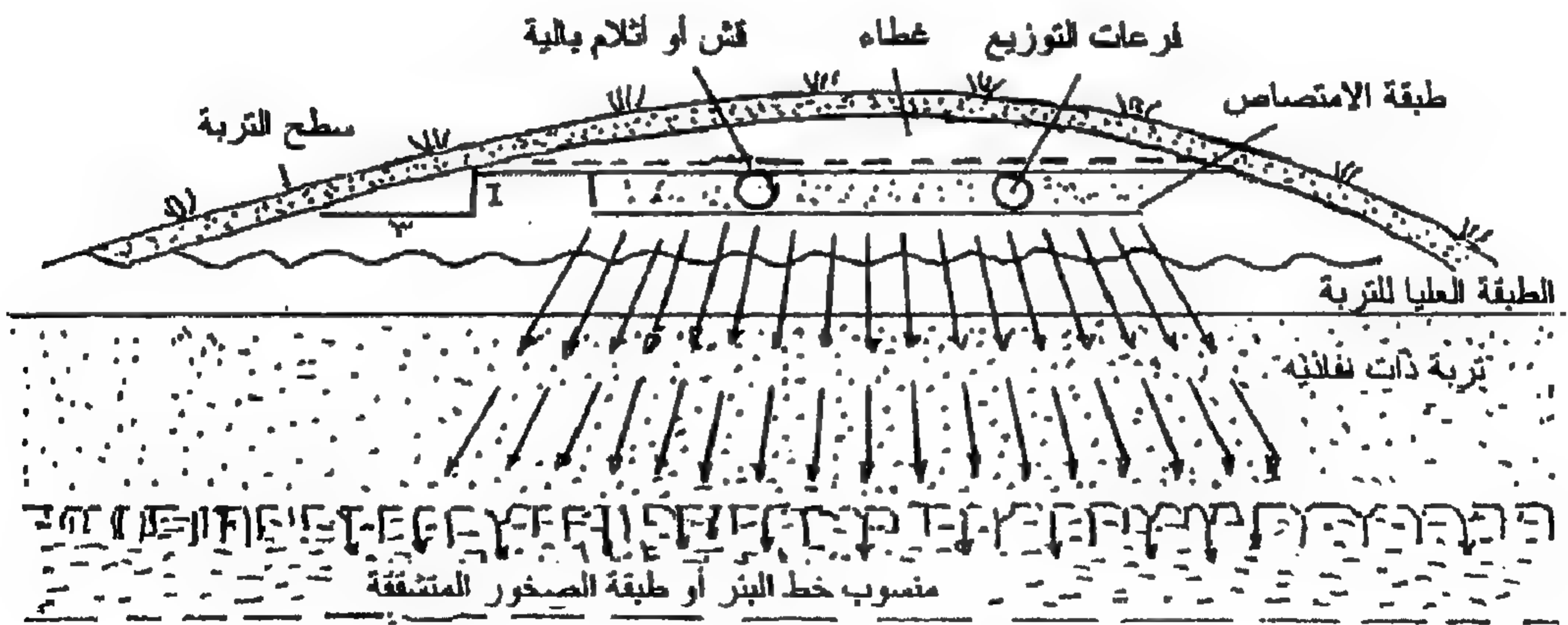
شكل (٦/٢٩) مقطع في حفرة تسرب للتخلص المحلي من مياه الصرف.

حفرة التسرب يسبقها خزان تحليل

القطر والعمق المطلوب لحفرة التسرب يتوقف على معدلات التسرب وسمك الطبقات المختلفة للتربة في منطقة الحفر. طبقات التربة ذات معدلات تسرب أقل من ٣٠ دقيقة/البوصة لا يتم تضمينها في حسابات التصميم. حفر التسرب النموذجية تكون بقطر حوالى ٣ أمتار (١٠ قدما) وبعمق حوالى ٤,٥ متر (١٥ قدما). عندما يكون المطلوب أكثر من حفرة واحدة في موقع معين يكون الفاصل بما لا يقل عن ثلاثة أضعاف القطر. يمكن حفر حفرة التسرب باستخدام آلات الحفر التقليدية، ولكن يجب الحذر من الحفر عندما تكون التربة رطبة. رطوبة التربة سوف تقلل طاقة امتصاصها.

الهضاب الصغيرة : (Mounds)

للتغلب على معوقات الموقع التى تعيق استخدام حفر التسرب أو حقول الارتشاح، فإنه يمكن استخدام نظام الهضاب الصغيرة. من بين معوقات الموقع تشمل التربة ذات المعدل البطئ جداً للتسرب وحالات وجود طبقات صخرية أو أن يكون خط المياه قريباً من سطح الأرض. الهضاب الصغيرة هو نظام امتصاص مياه الصرف التى ترتفع فوق سطح الأرض الطبيعية. هذا النظام يوفر مادة ملء مناسبة للتسرب وكذلك البعد عن الطبقة الصخرية أو خط المياه الجوفية. مقطع فى نظام الهضاب الصغيرة موضح فى الشكل (٦/٣٠).



شكل (٦/٣٠) نظام المرتفعات للتخلص المحلى من

مياه الصرف وتغذية الخزان الجوفى

مادة الملء عادة تكون من الرمل المتوسط من المصادر المحلية المتاحة. يتم وضع طبقة من الزلط وفرعات التوزيع الجانبية فى الجزء العلوى من الهضبة لانتظام امتصاص

مياه الصرف من خزان التحليل. يجب أن تتم التغذية بمياه الصرف إلى منطقة الامتصاص بشكل متقطع. أبعاد نظام الهضبة تتوقف على حالات التربة الطبيعية، ميل الأرض، عمق الملء أسفل مساحة الامتصاص.

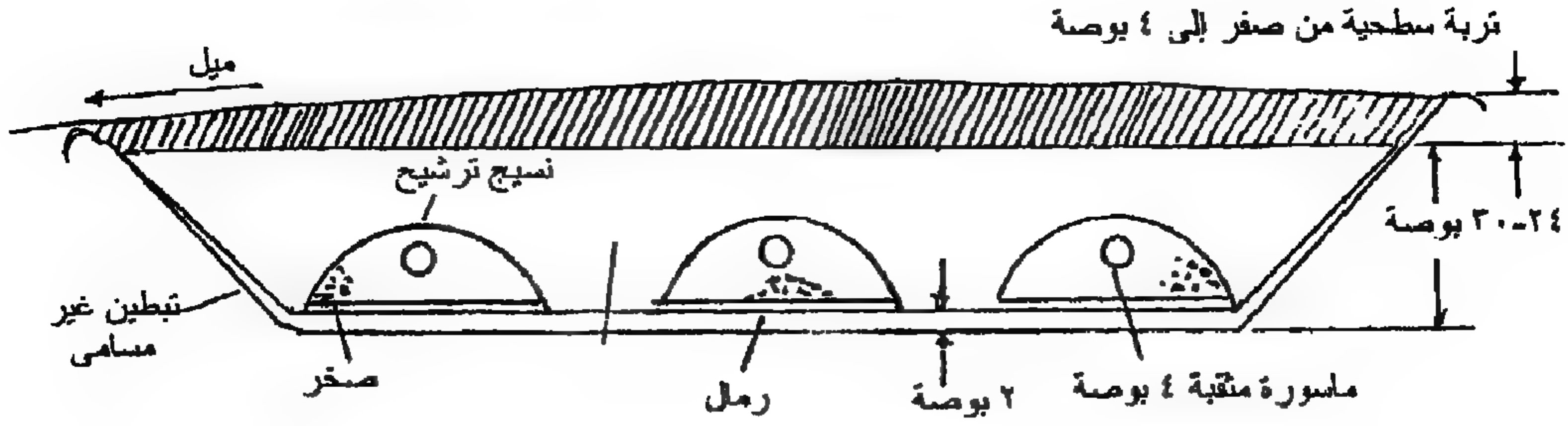
نظم أخرى في الموقع : (Other On-Site Systems)

الجمع بين خزان التحليل وحقل الارتشاح هو نوع النظام العادي للمعالجة والتخلص من مياه الصرف في الموقع. خزان التحليل يوفر أدنى معالجة، ولكن بالنسبة نوعية المياه ليست هناك حاجة لتكون عالية ذلك لأن طاقة التنقية للتربة تكون عادة كافية لحماية المياه الجوفية. حقل الارتشاح يوفر الوسائل للتوزيع المنتظم لمياه الصرف المعالجة (الخارجة من خزان التحليل) في التربة. كما سبق مناقشته فإن القيود على التخلص تحت السطح في التربة يمكن التغلب عليها باستخدام حفر التسرب أو نظم الهضاب الصغيرة.

في بعض الحالات، تكون حالات الموقع أو التربة تجعل من الصرف تحت السطح أنه غير مجدى على الإطلاق، لذلك يكون من الضروري التخلص من مياه الصرف في الموقع بسبب عدم وجود محطة معالجة صرف صحي تابعة للمحليات. توجد بدائل عديدة متاحة بالامتصاص تحت السطح، ولكن هذه عموماً أكثر تكلفة في الإنشاء والتشغيل والصيانة. هذه البدائل تشمل استخدام نظم البخر والنتح (Evapotranspiration) والمرشحات الرملية المتقطعة. كلا من هذين النظامين يمكن استخدامه بعد خزان التحليل. في حالة الرغبة في مستوى أعلى من المعالجة، يمكن استخدام وحدة معالجة صغيرة مثل حوض تهوية ممتدة في الموقع.

نظم البخر والنتح :

يتكون نظام البخر والنتح من طبقة من الرمل، شبكة من مواسير التوزيع المثقبة، وطبقة بطانة غير مسامية التي تمنع المياه المعالجة من الوصول إلى خط المياه. في بعض الحالات، يمكن عدم تنفيذ طبقة البطانة هذه وذلك لتمكين بعض من مياه الصرف أن تتسرب في التربة. ولكن الهدف الرئيسي لهذا النوع من النظام هو صرف مياه الصرف في الجو وتجنب الحاجة للصرف على المسطح المائي أو إلى المياه الجوفية. مقطع في نموذج لنظام البخر والنتح موضح في الشكل (٦/٣١).



شكل (٦/٣١) نظام البخر والنتح للتخلص في الموقع

يتم توزيع السائل الخارج من خزان التحليل خلال الطبقة في شبكة المواسير المثقبة. ترتفع مياه الصرف خلال الرمال بالخاصية الشعرية ثم تتبخر في الهواء. الحشائش أو النباتات الأخرى التي تنمو أعلى الطبقة تمتص بعضاً من مياه الصرف في منطقة الجذور وتقوم بفتحها (Transpireit) في الهواء خلال الأوراق. ولذلك كانت التسمية نظام البخر والنتح. أحد أهم العوامل الحساسة التي تتحكم في استخدام نظام البخر والنتح هو المناخ المحلي الذي يؤثر على معدل التبخر. تحديداً، العوامل مثل الأمطار السنوية، سرعة الرياح، الرطوبة، اشعاعات الشمس، ودرجة الحرارة كل هذه العوامل تعتبر هامة.

نظم البخر والنتح تعمل بكفاءة في المناطق حيث يزداد معدل التبخر عن معدل الترسيبات، كما في حالة جنوب الولايات المتحدة والمنطقة العربية وشمال أفريقيا. النتح بواسطة النبات يزيد من كمية بخار الماء في الهواء في نظم التربة المغطاة، ولكن فقط أثناء ساعات ضوء النهار لمواسم النمو.

المعيار الهام في التصميم لنظام التبخر والنتح هو معدل التحميل الهيدروليكي، والذي يجب أن يكون منخفضاً بما يكفي لمنع الطبقة من الامتلاء تماماً بالسائل. معدل التحميل التقليدي هو حوالي ٢ لتر/م^٣/اليوم. (٠,٠٥ جالون في اليوم/ القدم المربع/ اليوم) وذلك في أحد المدن الأمريكية. معدل التحميل الهيدروليكي يتم تحديده من الفرق بين معدل التبخر ومعدل الترسيب. نظام التبخر والنتح لأسرة واحدة يحتاج حوالي ٤٦٥ متر مربع من المساحة الأرضية.

المرشحات الرملية المتقطعة :

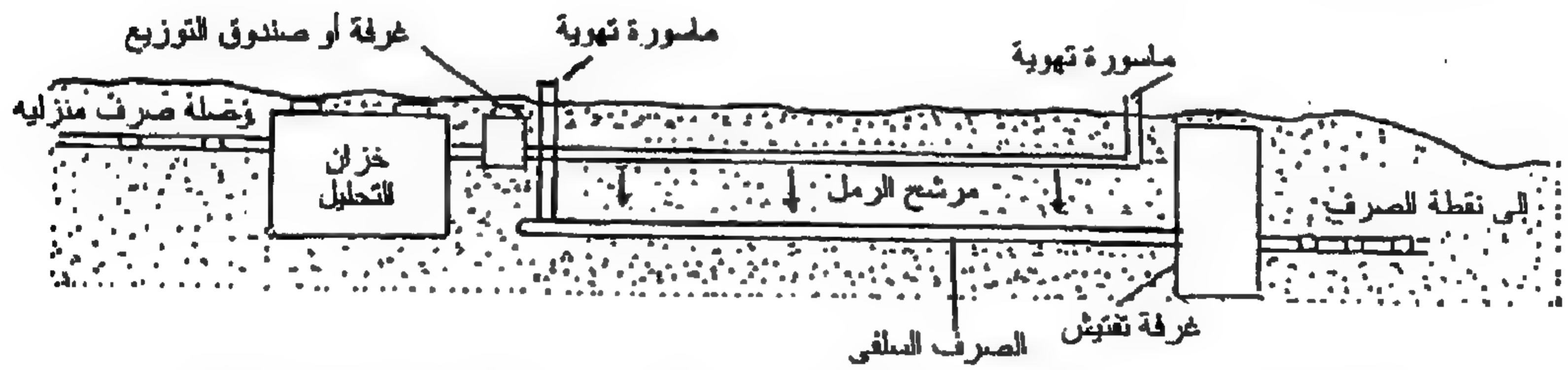
من بين أقدم الطرق لمعالجة مياه الصرف كانت طريقة الاستخدام المتقطع لمياه الصرف المرسبة في طبقة الرمال. طبقة الرمال عادة بعمق واحد متر وأسفلها طبقة من

الزلاط ومواسير تجميع. السائل المتجمع يمكن تطهيره بالكلور قبل الصرف على الأرض أو المسطحات المائية.

المرشحات يمكن بناءها كوحدات مفتوحة عند مستوى سطح الأرض، أو يمكن أن تكون مدفونة في الأرض. وهذه توفر معالجة جيدة مع أدنى متطلبات للصيانة. وتستخدم هذه المرشحات لتوفير المعالجة في الموقع للمنازل وكذلك للمنشآت التجارية الصغيرة. نموذج للمرشح المدفون موضح في الشكل (٦/٣٢)

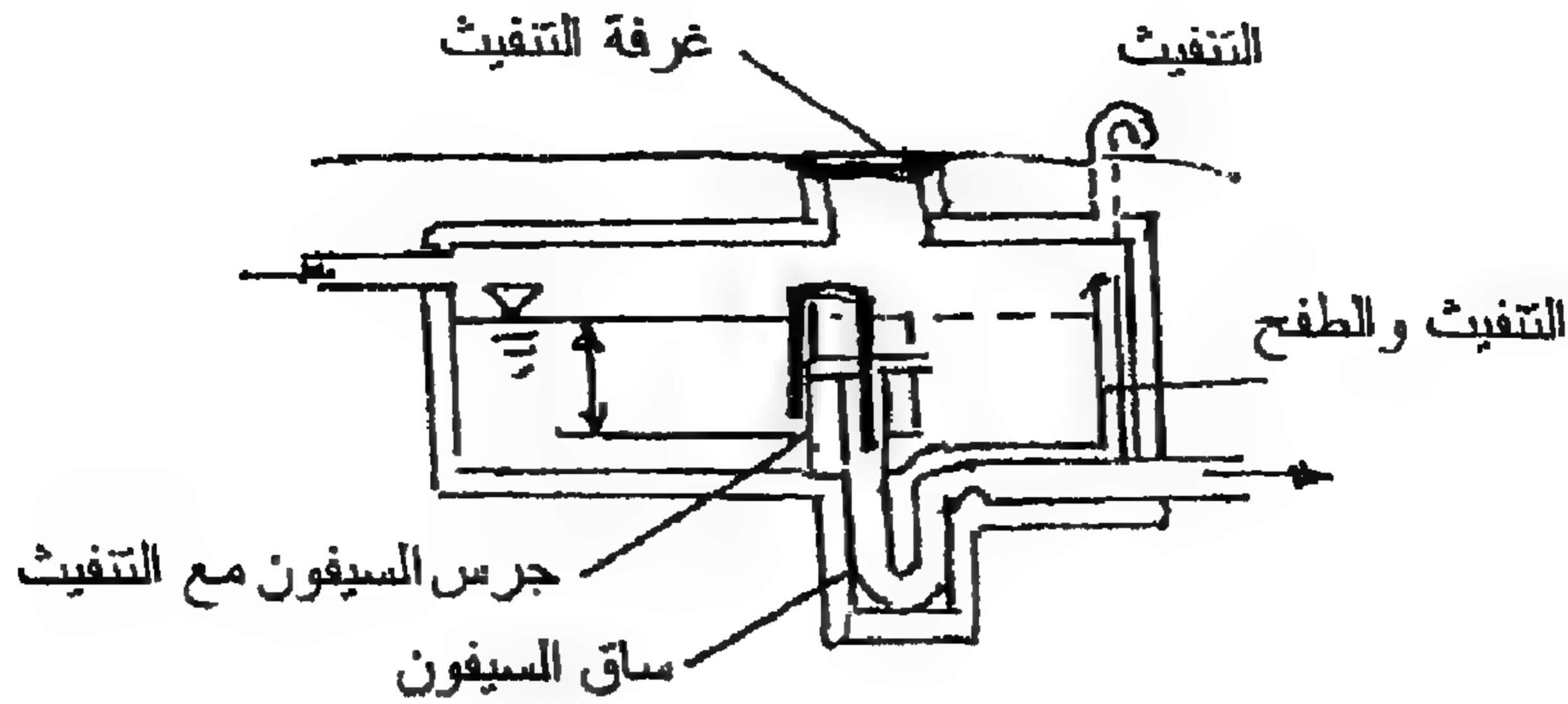
خطوط التوزيع المتقبة العلوية تكون مستوية وبفواصل ٢ متر (٠.٦ قدم). مواسير الصرف السفلية تكون متقبة أو ذات وصلات مفتوحة على ميل حوالي ٠.٥% وتكون بفواصل ٤ متر (١٢ قدم). الحمل العضوي على المرشح المدفون هو حوالي ٠.٠٤ متر مكعب/ المتر المربع/ اليوم (جالون واحد في اليوم/ القدم المربع).

طبقة التربة العليا المنتهية فوق المرشح يتم رفعها بعيداً عن التدفقات. التغذية أو إمداد مياه الصرف للطبقة الرملية، يعتبر عامل هام متعلق بتشغيل وصيانة المرشح. المرشحات الضخمة يجب تغذيتها بطريقة متقطعة حوالي مرتين في اليوم وذلك لملء كل الوحدة. من المهم توفير فترة راحة بين الجرعات لاستمرار الحالة الهوائية للطبقة. تستخدم خزانات صغيرة والتي تسمى حجرات التغذية لتخزين مياه الصرف حتى استخدامها في المرشح بالطلبة شكل (٦/٣٢) أو بتجهيزة سيفون. نموذج لغرفة سيفون التغذية بالجرعات موضح في الشكل (٦/٣٣).



شكل (٦/٣٢) مقطع خلال مرشح رملي للصرف المحلي للصرف الصحي

يقوم السيفون بالصرف آلياً عند وصول مستوى مياه الصرف في الخزان إلى منسوب يسمى عمق السحب، لا توجد حاجة للتحكم الكهربائي أو الميكانيكي. وهذه يتم تنشيطها بالضغط الرأسي لمياه الصرف. السيفونات من الحديد الزهر أو من الصوف الزجاجي متاحة تجارياً بأحجام مختلفة. غرفة السيفون تحتاج فقط لصيانة قليلة.



شكل (٦/٣٣) مقطع لغرفة التغذية وتجهيزه السيفون

٦- إدارة الحمأة : (Sludge Management)

مقدمة :

المواد الصلبة العالقة التي أزيلت من مياه الصرف أثناء الترسيب ثم تم تركيزها للمعالجة التالية تسمى الحمأة أو المواد الصلبة البيولوجية (Biosolids). حتى في حالة عمليات معالجة الصرف بالطريقة الهوائية حيث يتم تكرار تدوير الحمأة، فإن معظم الحمأة يجب إزالتها من أن إلى آخر من النظام. قبل التخلص من الحمأة فإنه يلزم عمل بعض المعالجات لها وذلك لخفض الحجم ولتثبيتها. العمل الخاص بالمعالجة والتخلص من هذه المادة يسمى إدارة الحمأة.

الحمأة تكون حوالي ٣ - ٧% من المواد الصلبة العالقة، كل فرد ينتج حوالي ١٥ لتر (٤ جالونات) من الحمأة في الأسبوع. بالنسبة لمدينة صغيرة تعداد سكانها ١/٢ مليون نسمة فإنها تضيف حوالي مليون لتر من الحمأة يومياً (٢٥٠٠٠ جالون/ اليوم). نظراً لحجم وطبيعة المادة فإن إدارة الحمأة هو عامل هام في تصميم وتشغيل كل محطات معالجة ملوثات المياه. وهذا يساهم في أكثر من نصف التكاليف الكلية لمحطة معالجة ثنائية.

خواص الحمأة :

مكونات وخواص حمأة الصرف الصحي تختلف كثيراً. نظراً لأنه لا يوجد نوعين من مياه الصرف متشابهين، فإن الحمأة المنتجة سوف تختلف. وكذلك، خواص الحمأة تختلف كثيراً مع الوقت. حمأة مياه الصرف تحتوي على مواد عضوية (بروتينات، كربوهيدرات، دهون، زيوت)، ميكروبات (بكتيريا، فيروسات، بروتوزوا)، مواد الغذاء (أملاح الفوسفور والنيتروجين) وعديد من الكيماويات المنزلية والصناعية. كلما زادت مستويات المعادن

الثقيلة والمركبات السامة، زادت الخطورة على الصحة العامة وعلى البيئة. الخاصية الطبيعية الحاكمة هي تركيز المواد الصلبة، لأن ذلك يعرف حجم الحمأة الذي يلزم تداوله. وهي كذلك تحدد ما إذا كان سلوك الحمأة مثل السائل أو الصلب. الحمأة تميل إلى أن تكون مثل السائل البلاستيك مع زيادة تركيز المواد الصلبة حتى الوصول إلى الحالة الصلبة نسبياً.

كمية الحمأة الصلبة المنتجة من نظام معالجة مياه الصرف (أو مياه الشرب) تتوقف إلى حد كبير على درجة المعالجة التي أجريت وعلى كمية الكيماويات التي أضيفت. تتكون الحمأة عند قاع المرووق أو حوض الترسيب في شكل ردة مركزة من المواد الصلبة العالقة في الماء. يتوقف الحجم على الكميات النسبية للمادة الصلبة والماء. يعبر عن تركيز الحمأة كنسبة مئوية بالوزن أو الكتلة. فمثلاً، الكتلة من الحمأة السائلة قدرها ١٠٠ كجرام التي تحتوى على ٣ كجرام من المواد الصلبة، ٩٧ كجرام من الماء سيكون تركيزها ٣/١٠٠ أو ٣% مواد صلبة. وهذا يكافئ تركيز للمواد الصلبة ٣٠٠٠٠ ملجرام/لتر. تركيز المواد الصلبة له تأثير واضح على الحجم الكلى الذى تشغله الحمأة السائلة. إجمالى حجم الحمأة يتناسب عكسياً مع تركيز المواد الصلبة. فمثلاً، فى حالة مضاعفة النسبة المئوية للمواد الصلبة، لتكن من ٣% إلى ٦%، عندئذ فإن إجمالى حجم الحمأة سوف ينخفض إلى نصف حجمه الأصلي. وهذه علاقة هامة جداً. زيادة تركيز الحمأة فى الردة بنسبة مئوية قليلة يمكن أن يقلل كثيراً إجمالى حجم الحمأة. وهذا يقلل تكاليف التداول، المعالجة والتخلص من الحمأة.

للأغراض العملية، يمكن افتراض أن الوزن أو الكتلة لوحدة الحجم لسائل الحمأة هو نفسه مثل ذلك للماء النقى. فمثلاً، كتلة واحد متر مكعب من الماء هي ١٠٠٠ كجرام، وكتلة نفس الحجم من الحمأة الكثيفة نسبياً (كما فى حالة ١٠% مواد صلبة) هو فقط ١٠٢٠ كجرام. فرق الـ ٢% يمكن إهماله لأغراض التصميم والتشغيل. على أساس ذلك، العلاقة بين تركيز الحمأة وأحجام الحمأة يمكن التعبير عنها كالتالى :

$$(1) \quad S = \frac{M}{V} \times 100$$

أو

$$(2) \quad S = \frac{W}{8.34 \times V} \times 100$$

حيث :

$S =$ النسبة المئوية التركيز بالمواد الصلبة في الحمأة

$M =$ الحمأة الصلبة الجافة بالكيلوجرام معادلة (١)

$W =$ الحمأة الصلبة الجافة بالرطل معادلة (٢)

$V =$ إجمالي حجم الحمأة باللتر في المعادلة (١) والجالون في (٢)

$8.34 =$ عدد الأرطال في الجالون معادلة (٢)

مثال :

حمأة بمحتوى ٦% تركيز المواد الصلبة تشغل حجم إجمالي ٣٠٠ متر مكعب. (أ) ما هو محتوى الحمأة من الماء؟ (ب) ما هي كتلة الحمأة الصلبة؟ (ج) في حالة زيادة تركيز الحمأة (أو إزالة الماء) إلى حجم ٢٠٠ متر مكعب ما هو التركيز للحمأة الناتج عن ذلك؟ ماذا سيكون المحتوى من الماء؟

الحل :

(أ) إذا كان ٦% من الحمأة يتكون من المواد الصلبة الجافة، عندئذ فإن المحتوى من الماء هو ببساطة الفرق أو $100 - 6 = 94\%$.

(ب) أولاً :

$$V = 300 \text{ م}^3 \times 1000 = 300000 \text{ لتر}$$

باستخدام المعادلة (١)

$$M = 300000 \div 100 \times 6$$

$$M = 18000 \text{ كجرام من المادة الصلبة الجافة}$$

(ج) ثانياً باستخدام المعادلة (١)

$$S = 18000 \div 200000 \times 100 = 9\% \text{ مواد صلبة}$$

المحتوى من الماء سيكون $100 - 9 = 91\%$.

مثال :

حجم من الحماية قدره ٥٠٠٠٠٠ جالون يحتوى على ١٠٠٠٠٠ رطل من المواد الصلبة الجافة. ما هو المحتوى من المواد الصلبة للحماية كنسبة مئوية؟ إذا تم تركيز الحماية إلى ٤% مواد صلبة ماذا سيكون الحجم؟
الحل :

أولاً استخدم المعادلة (٢) بما يعطى

$$S = 100000 \div (500000 \times 8.34) \times 100 = 2.4\%$$

ثانياً استخدم المعادلة (٢)

$$4 = 100000 \div (8.34 \times V) \times 100$$

و

$$V = 100000 \div (4 \times 8.34) \times 100 = 300000 \text{ جالون}$$

الحماية الأولية عادة تحتوى على تركيز ٧% من المواد الصلبة. الحماية التثائية لها تركيز أقل كثيراً من المواد الصلبة ذلك لأن معظم المواد الصلبة العالقة عبارة عن زغبات عضوية التى ترسب ببطء والتي لا تدمج إلى الكثافة العالية للحماية الأولية. حماية المخلفات المنشطة تحتوى فقط على حوالى ٢% من المواد الصلبة أو أقل.

مواد الحماية الصلبة الأولية والتثائية معظمها مواد عضوية، مع جزء متطاير حتى ٨٠٪. الحماية الأولية تعطى رائحة منفرة قوية، يمكن أن تصبح متعفنة بسرعة ويصعب تداولها. بالإضافة إلى خفض الحجم، فإن الهدف الأساسى من معالجة حماة الصرف الصحى هو لتثبيت المواد العضوية الصلبة القابلة للتحلل البيولوجى ولتكون الحماية غير عدوانية وسهلة التداول. حماة محطة معالجة المياه تكون غالباً من رواسب كيماوية خاملة والتي تكون ثابتة نسبياً وغير عدوانية. كميات هذا النوع من الحماية يمكن أن تتغير كثيراً طبقاً لكمية ونوع الكيماويات المستخدمة وعلى مكونات المياه الخام.

كمية الحماية الأولية المنتجة فى محطة معالجة الصرف الصحى تتوقف على تركيز المواد الصلبة العالقة فى مياه الصرف الخام وعلى كفاءة الإزالة للمواد الصلبة العالقة. يمكن تقديرها من المعادلات الآتية :

$$\text{الكتلة} = E \times \text{إجمالى المواد الصلبة العالقة (TSS)} \times Q \quad (١)$$

$$\text{الوزن} = 8.24 \times Q \times \text{TSS} \times E \quad (٢)$$

حيث الكتلة (Mass) = مواد الحماية الصلبة الجافة بالكيلو جرام معادلة (١)

الوزن (Weight) = مواد الحمأة الصلبة الجافة بالرطل معادلة (٢)

Q = معدل تدفق مياه الصرف مليون لتر / اليوم

للمعادلة (١) أو مليون جالون في اليوم للمعادلة (٢).

كمية الحمأة الثانوية المنتجة في محطة معالجة الصرف الصحي تتوقف على تركيز الحمل العضوي (BOD) وعلى الجزء من الحمل العضوي الذي يتحول إلى مواد صلبة بيولوجية (خلال الميكروبات). يمكن تقديرها بالآتي :

$$\text{الكتلة (Mass)} = Q \times \text{BOD} \times K \quad (١)$$

$$\text{الوزن (Weight)} = 8.24 \times Q \times \text{BOD} \times K$$

حيث K = المعامل الذي يمثل نسبة BOD التي تحولت إلى مواد صلبة بيولوجية في شكل رقم عشري.

$\text{BOD} = \text{الحمل العضوي المستخدم (5-d BOD) ملجرام/لتر}$.

قيمة K تتوقف على الحمل العضوي أو نسبة الغذاء إلى الكائنات الدقيقة (F/M Ratio)، القيمة التقليدية لنظم التهوية الممتدة أو النمو الثابت (Fixed Growth) هي $K = 0.25$ ، وبالنسبة لعمليات التهوية على خطوات أو التقليدية فإن قيمة $K = 0.35$.

مثال :

دخل محطة معالجة الصرف الصحي بالمرشحات الزلطية تدفق ٤ مليون لتر في اليوم مع مواد صلبة عالقة خام = ٢٤٠ ملجرام/لتر وحمل عضوي خام (BOD) = ٢٢٠ ملجرام/لتر. كفاءة الإزالة في حوض الترسيب الأولى هي ٥٠% بالنسبة للمواد الصلبة العالقة، ٣٠% للحمل العضوي (BOD).

(أ) احسب كتلة مواد الحمأة الصلبة الأولية المنتجة في اليوم.

(ب) احسب كتلة الحمأة الثانوية، الصلبة المنتجة في اليوم.

(ج) في حالة الجمع لكل من الحمأة الأولية والحمأة الثانوية وأن الخليط له تركيز

مواد صلبة قيمته ٤%، ما هو الحجم الكلي للحمأة المنتجة يوميا؟

الحل :

(أ) باستخدام المعادلة (١) تعطى

$$\text{الكتلة} = 0.5 \times 240 \times 4 = 480 \text{ كجرام من الحمأة الأولية}$$

(ب) أولاً، أحسب الحمل العضوى (BOD) المستخدم فى النظام الثانى.

الحمل العضوى المستخدم (BOD) = $(1 - 0.3) \times 220 = 150$ ملجرام/لتر باستخدام المعادلة (1).

الكتلة = $0.25 \times 150 \times 4 = 150$ كجرام/ اليوم من الحمأة الثانىة.

(ج) إجمالى كتلة كلا من الحمأة الأولية والثانوىة هو

$150 + 480 = 630$ كجرام/ اليوم. الآن باستخدام المعادلة

$$S = \frac{M}{V} \times 100$$

$$100 \times V \div 630 = 4 \dots$$

$$10750 = 4 \div 63000 = 7 \dots$$

$$= 16 \text{ متر مكعب/ اليوم إجمالى حجم الحمأة}$$

معالجة الحمأة : (Sludge Treatment)

يتم معالجة الحمأة قبل التخلص النهائى منها لسببين وهما خفض الحجم وتثبيت المواد العضوىة. الحمأة المثبتة ليس لها رائحة منفرة ويمكن تداولها بدون أى مشاكل ذات تأثير على الصحة العامة. انخفاض حجم الحمأة يقلل من الضخ ومتطلبات التخزين ويقلل من تكاليف تداول الحمأة.

يتاح عمليات كثيرة لتحقيق هذين الغرضين الأساسيين. وهذه تشمل تكثيف الحمأة (Thickening)، الهضم (Digestion)، سحب المياه (Dewatering)، التجميع (Co-Compositing). بدائل معالجة الحمأة التقليدية موضحة فى الشكل (٦/٣٤) سيتم مناقشة الحرق كبديل نهائى للتخلص من الحمأة. جمع الحمأة مع القمامة والمخلفات الأخرى تتم مناقشته فى فصل التخلص من المخلفات المنزلية (الجزء الأول).

تكثيف الحمأة :

طبيعى أن معالجة الحمأة المائية أو المخففة ليس عملياً حيث يكون تركيز المواد الصلبة فيها لا يقل عن ٤%. الحمأة المنشطة هو مثال للحمأة المخففة. التكثيف هو عملية طبيعية التى تزيد من تركيز المواد الصلبة فى الحمأة. حيث أن مؤشر حجم الحمأة يتغير

مساحة صغيرة، فإن النظام الميكانيكي يوفر درجة أعلى من التحكم وخاصة عند تداول هذا النوع من الحمأة المخففة الثنائية.

النظام العادي الميكانيكي المستخدم لسحب المياه من الحمأة يشمل مرشح الأسطوانة الدوارة بالتفريغ (Rotary Drum Vacuum Filter) والطرْد المركزي (Centrifuge).

يتكون مرشح الأسطوانة الدوارة بالتفريغ من برميل إسطوانى ضخّم مغطى بنسيج ترشيح خاص. الأسطوانة تدور مغمورة جزئياً فى الحوض المحتوى على الحمأة. يتم تسليط المص أو التفريغ داخل الأسطوانة حيث يتم سحب الحمأة على سطح النسيج وسحب المياه. تلتصق طبقة رقيقة من الحمأة التى أزيلت المياه منها على سطح نسيج الترشيح وتسمى قشور الترشيح (Filter Cake)، التى تلتصق بالنسيج. الدوران التالى للأسطوانة يحمل قشور الترشيح إلى ريشة مثبتة التى تكشط الحمأة إلى قادوس مع تحريك البرميل الأسطوانى. يتم غسل النسيج برشات قوية من الماء قبل إعادة إدخاله إلى حوض الحمأة. عادة يكون من الضرورى إضافة كيماويات معينة إلى الحمأة لترويب المواد الصلبة وتحسين القدرة على الصرف. وهذا ما يسمى إعداد الحمأة (Conditioning). فى هذه العملية يتم خلط كيماويات مثل كلوريد الحديد أو الجير المطفى أو البلمرات مع الحمأة قبل دخولها إلى حوض الترشيح بالتفريغ. فى نظام سحب المياه بالطرْد المركزي يتم ضخ الحمأة إلى أسطوانة أفقية التى تدور بسرعة عالية. كيماويات إعداد الحمأة يتم كذلك حقنها فى الأسطوانة. المواد الصلبة تدفع إلى جدار الأسطوانة الدوارة بفعل القصور الذاتى. يتم ضخ السائل الرائق ثانياً إلى مدخل محطة المعالجة للمعالجة. أجهزة الطرد المركزي تكون مقفلة كلية بما يقلل من مشاكل الرائحة، ولكن يكون من الصعب أحياناً المحافظة على استمرارها بسبب السرعة العالية للمعدة.

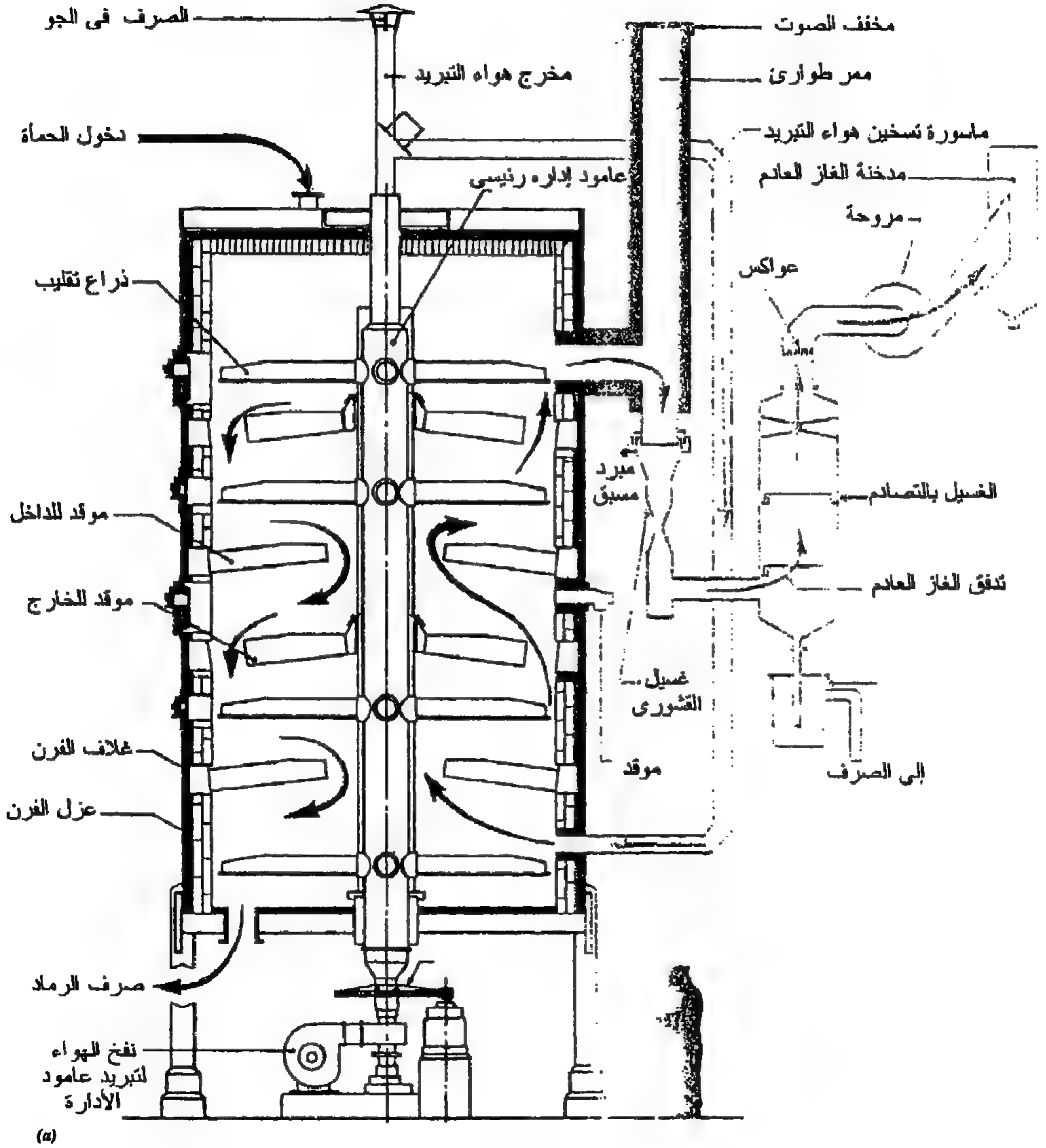
التخلص من الحمأة : (Sludge Disposal)

الطرق المستخدمة عادة للتخلص النهائى من حمأة مياه الصرف تشمل الردم الأرضى (Land filling)، الحرق، البيع كسماد طبيعى. ولكن الردم الأرضى تحكمه وتحد من استخدامه معايير البيئة والحرق ملوث البيئة أما الاستخدام كسماد طبيعى فهو أفضل البدائل.

حرق الحمأة :

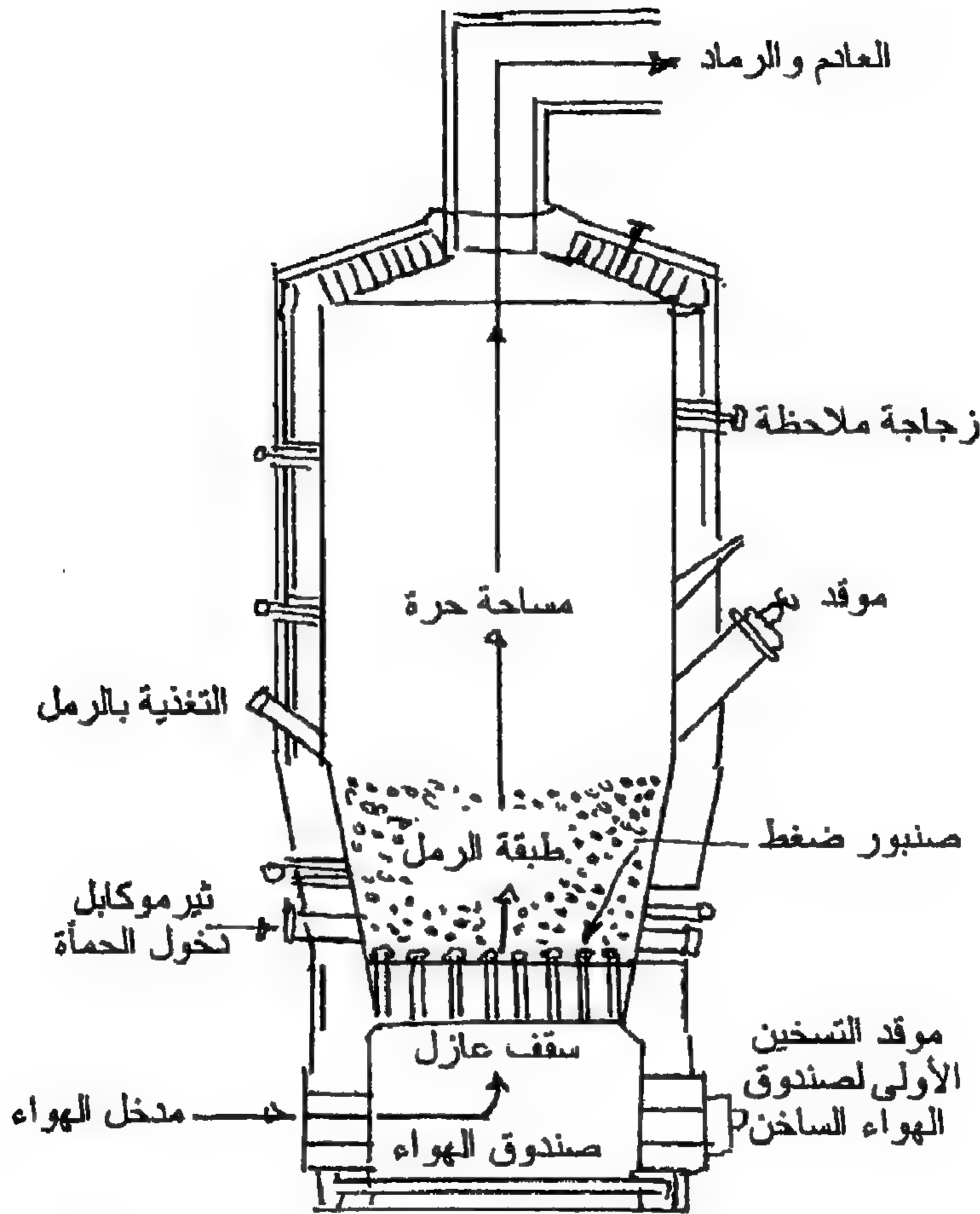
يمكن حرق حمأة الصرف الصحى، لتحويل المواد الصلبة العضوية فى معظمها إلى بخار الماء وثانى أكسيد الكربون، حيث يتبقى الرماد الخامل. يمكن حرق الحمأة التى أزيل ماءها فى فرن متعدد المواقْد (Multiple Hearth Furnance)، محرقة الطبقة السائلة

(Fluidized Bed)، وأنواع أخرى من المحارق. في الفرن متعدد المواقد تدخل الحماة المزال ماءها من أعلى كما في الشكل (٦/٣٨). مع مرورها إلى أسفل خلال العديد من المواقد، فإنها تجف ويتم تسخينها إلى درجة الاحتراق. مواقد الغاز أو الزيت توفر الطاقة اللازمة للبداية، والحماة نفسها تعمل كوقود لاستمرار العملية. يتم سحب الرماد من قاع الفرن، الغازات العادمة يجب أن تمر خلال أجهزة تنظيف الهواء.



شكل (٦/٣٨) مخطط لمحركة الحماة متعددة المواقد

في محرقة الطبقة السائلة، فإن التدفق العلوي للهواء المخلوط مع الحمأة يدفع خلال طبقة من الرمل الساخن، الهواء يسبب التمدد للطبقة أو أن تصبح كالسائل (Fluidized). الرمل يتم تسخينه مسبقاً إلى حوالي ٨٠٠° م. يتم حرق الحمأة عند مرورها خلال الرمل الساخن. الرماد المحمول إلى الخارج مع الغازات العادمة يتم إزالته في المعدة الأخيرة لنظافة الهواء الشكل (٦/٣٩).



شكل (٦/٣٩) مقطع في فرن الطبقة السابحة

حرق الحمأة مكلف. كبديل لإدارة الحمأة، وهو مناسب في المدن المزدهمة فقط حيث لا تتوفر مساحات الأراضي. العوامل المتعلقة بالسكان هي توفر الموقع، الرائحة، القابلية النفسية، والتخلص من الرماد، ومرور المركبات الحاملة لسائل الحمأة. تلوث الهواء يعتبر من أهم العوامل البيئية التي يجب مراعاتها. حيث يلزم معالجة غازات الحرق. ولهذه الأسباب فإن حرق الحمأة يعتبر بديل قليل ونادر الاستخدام.

الاستخدام فى الأراضى :

الإدارة المثالية لحماية الصرف الصحى المعالجة هو باستخدامها فى أغراض مفيدة. الاستخدام الأراضى على نطاق واسع هو البديل الذى يحقق الاستفادة من الغذاء النباتى من النترات والفوسفات التى تحتويها الحماية. المواد العضوية الصلبة ذات المستوى المنخفض من المعادن الثقيلة أو المركبات السامة يمكن استخدامها كسماد للنباتات المحصولية أو الأشجار ويمكن أن يحسن من نوعية التربة للأرض الممهدة للجولف وأماكن إصلاح الأراضى الكبيرة. يمكن استخدام الحماية كغطاء للأرض أو أن تخلط مع الأرض أثناء وضعها.

وسائل الحماية المهضومة يمكن أن يكون مناسباً للاستخدام المباشر فى التربة. أحد الطرق لعمل ذلك هو بنقل سائل الحماية فى عربة فنتاس مجهزة بمعدة نشر خاصة. معدة الرش يمكن تصميمها لتداول الحماية السائلة. الحماية التى تم تجفيفها فى الهواء يمكن تداولها بمعدة نشر سطحية خاصة مركبة على شاسية المركبة. وهذه تشمل الصرف الخلفى التقليدى أو صندوق التوزيع وصرف جانبى أو نوع النشر بالقذف.

أحياناً يتم خلط الحماية مع نشارة الخشب حيث مع التحلل تكون خليطاً من السماد ونشارة الخشب.

ولكن فى حالة وصول مياه التسرب من الحماية إلى الخزان الجوفى المستخدم لمياه الشرب، فإن المعادن الثقيلة والمواد العضوية السامة تكون ذات تأثير على الصحة العامة. وكذلك وصول هذه المياه إلى المياه السطحية يمكن أن يرفع مستوى أملاح الفوسفور والنيتروجين بما يسبب القتل للأسماك وزيادة نمو الطحالب والنباتات المائية.

REFERENCES

1. Hammer M. J. Sr. Water and wastewater Engineering Treatment and disposal, Reuse 3rd Edition McGraw Hill Inc New York. 1991.
2. Viessman W. Water Supply and Pollution Control 6th Edition Addison - Wesley Publishing Co. Reading MA, 1998.
3. Ray, B. T. Environmental Engineering, PWS Publishing Company, Boston 1995.
4. Publications of the American Water Works Association (AWWA).
5. Publications of the World Health Organization (WHO).
6. Publications of the Environmental Protection Agency (EPA).

الفہرس



Bibliotheca Alexandrina



0704108

الغلاف : جمال خليفة

ISBN 977-287-748-1



9 789772 877485

دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع
٥٠ شارع الشيخ ریحان - عابدين - القاهرة
٢٧٩٥٤٢٢٩ ☎
www.sbh-egypt.com
e-mail : sbh@link.net